ISSN 1016-9288
제50권 10호
2023년 10월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

vol.50. no.10

최신 반도체 메모리 기술 동향

- DRAM 기술의 현재와 미래
- Flash 메모리 기술의 현황과 미래
- RRAM 소자 공정 기술의 과거와 최근 연구 동향
- 상변화 메모리 연구 개발 동향
- FeRAM의 발전과 응용

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers
www.theieie.org

Boost your lab's performance

임의파형발생기

→ 2.4 GSa/s, 16 bit, 750 MHz
→ 4 또는 8 채널 이상
→ 50 ns 이하의 트리거 딜레이

어플리케이션

반도체 테스트, 양자 컴퓨터, Phased array 레이더 설계 & 테스트, Lidar, 분광학, NMR

임피던스분석기

→ DC ~ 5 MHz까지, 1 mΩ ~ 1 TΩ까지
→ 0.05% 기본 정확도
→ 측정 정확도 보상 및 측정 신뢰도 표시 기능

어플리케이션

높은 Q 값의 유전체, 정전용량형 센서, 슈퍼 커패시터, PV 소자, 소자 특성 분석

락인앰플리파이어

→ 600 MHz까지 측정 가능
→ 스코프, FFT, 주파수 응답 분석기, Sweeper, 이미징 툴
→ 옵션: 임의파형발생기, PID, PLL, Boxcar, 주파수 카운터, AM & FM 변조

어플리케이션

AFM, LVP, CARS, SRS, SNOM, graphene, optical PLL, THz, pump-probe, RFID, MEMS, NEMS, gyros, NDT, MRFM

LabOne® 소프트웨어

취리히인스트루먼트의 모든 장비는 제어소프트웨어인 LabOne®을 사용할 수 있습니다. 다양한 기능, 효율적인 작업, 쉬운 사용자인터페이스를 제공합니다. 웹브라우저에서 장비를 엑세스하거나 LabVIEW™, MATLAB®, Python, C 또는 .NET 프로그램들과 통합할 수 있습니다.

Zurich Instruments

한국담당자 010-6456-3463
ilnam.yeom@zhinst.com
www.zhinst.com

응용분야 솔루션에 대하여
기술문의 해주세요

LG전자

[멀티 Vi]

24.7% 줄어드는 소비 전력!

날씨, 공간, 상황을 정확히 분석해서 최적의 에너지 효율을 찾아내는

국내 최초 AI엔진

LG WHISEN 시스템에어컨 MULTI V.i

NET 신기술 인증 | 한국표준협회 AI+ 인증

• 시스템에어컨 구입/제품문의: 1544-8777 • 서비스 문의: 1544-7777 • www.lge.co.kr/kr/business

• 국내 시스템에어컨 최초 AI+(에이아이플러스) 인증 획득, KSA 한국표준협회, 인증번호 AIM-0013, 유효기간 2021-03-17~2023-03-16 • AI+ 인증은 국내 유일의 인공지능 품질인증으로, 소프트웨어 품질 국제표준(ISO/IEC 25023 및 25051)과 품질경영시스템 국제표준(ISO 9001)을 기반으로 인공지능 기술이 적용된 제품과 서비스의 신뢰성, 안전성 등 품질을 증명 • NET(New Excellent Technology) 신기술 인증 획득, 한국산업기술진흥협회, 인증번호 제1345호, 유효기간 2021-09-29~2024-09-28 • NET 인증은 한국산업기술진흥협회가 우수한 신기술에 부여하는 인증으로, 현장학습 엔진을 장착한 AI기반 시스템에어컨 제어 기술 인증 • 쾌적구간 도달속도 시험 결과, 일반 운전 대비 스마트케어 운전 시 쾌적구간에 평균 28.5%(10.9~55.6%) 빠르게 도달 • 사용되는 소비전력 시험 결과, 일반 운전 대비 스마트케어 운전에 의한 소비전력 평균 24.7%(9~38.2%, 3시간 누적) 절감
• 시험장소: LG전자 창원 스마트 파크2 주택환경 챔버 실험실(38평(125㎡), 13.3m X 9.4m(층고 2.7m)), 와이즈 스톤(WISESTONE) 시험 진행 • 시험조건 : KS B 15042, 냉방 표준(35℃/40%), 난방표준(7℃/87%) 및 냉방 장마철(27℃/78%) 조건을 추가하여 3가지 조건에서 진행 • 시험일시 : 21.02.15~21.03.17 • 대상모델 : MULTI V 57kw AI 엔진 장착 모델

ICEIC 2024

International Conference on Electronics, Information, and Communication 2024

JAN. 28(SUN) - 31(WED) 2024 | TAIPEI, TAIWAN

CALL FOR PAPERS

The 23rd International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC 2024) is a forum open to all the participants who are willing to broaden professional contacts and to discuss the state-of-the-art technical topics.

Regular sessions of ICEIC 2024 will include more than 300 oral and poster presentations. In addition, the conference will offer special sessions, invited talks, keynote speeches, and tutorials to cover a broad spectrum of topics on electronics, information, and communication technologies.

IMPORTANT DATES

- **Submission of Paper** : September 10, 2023
- **Notification of Acceptance** : October 13, 2023
- **Submission of Camera-Ready Paper** : November 12, 2023

Organized by The Institute of Electronics and Information Engineers (IEIE)

IEIE IEEE

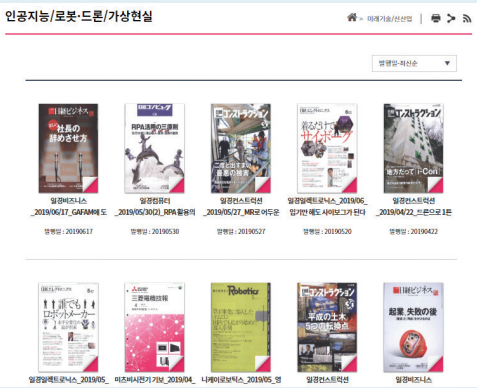
“미래 기술 · 신산업 기술 정보의 보고”
해동일본기술정보센터, 최신 정보 한글요약 제공

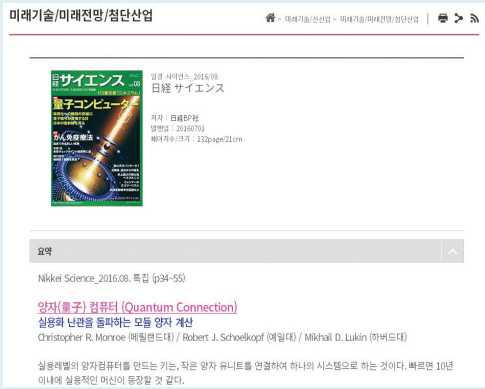
서울대학교 공과대학 해동일본기술정보센터는 대덕전자 (故)김정식 회장님의 열정과 지원에 의해 최신 일본 기술정보를 산업계와 학계에 널리 알리고자 2010년 3월에 설립하여 현재까지 운영해 오고 있습니다.

3천여권의 공학 및 신산업 관련 서적과 20여종의 Nikkei가 발행한 정기간행물과 40여개사의 기술보고서 등 4천여권의 도서를 통해 다양한 분야의 기술 정보를 제공하고 있습니다.

2016년부터는 소장 정보를 26개의 신산업 카테고리로 구분하여 미래기술과 신산업 관련한 정기간행물의 특집기사와 신문기사의 한글요약 제공과 함께, 주간브리핑 등을 통해 매주 새로운 정보를 메일과 SNS 등으로 배포하고 있습니다.

상세한 사항은 로그인 없이 모든 정보와 이용이 가능한 홈페이지를 참조바랍니다.





해동일본기술정보센터
HAEDONG JAPAN TECHNOLOGY INFORMATION CENTER
HJTIC
http://hjtic.snu.ac.kr
08826 서울특별시 관악구 관악로 1,
서울대학교 공과대학 35동
전화 : 02-880-8279

https://www.facebook.com/snuhjtic

http://blog.naver.com/hjtic2010

카카오톡 오픈채팅@HJTIC 브리핑룸

주간브리핑의 무료 이메일 구독을 원하시면,
‘hjtic@snu.ac.kr’에 “구독”으로 신청.

카카오톡으로 매일의 기사까지 받아 보시려면,
‘오픈채팅@HJTIC브리핑룸’ 가입 (pw:2016)

IEEE DiscoveryPoint Communications(IDPC)

IEEE
DiscoveryPoint
for Communications

IEEE가 만든 첨단 통신산업 R&D를 위한 All-in-One Platform

IEEE Full-text를 포함한 다양한 양질의 자료 제공	최첨단 연구를 위한 자료, 표준, 공급업체를 위한 솔루션까지 하나의 플랫폼에서 검색가능	5G, 6G, Edge, Computing, IoT 등 다양한 통신기술 분야의 자료중 전문적으로 선별된 컨텐츠 제공	설계 문제에 대한 솔루션 제공하여 실무 엔지니어에게 최적화

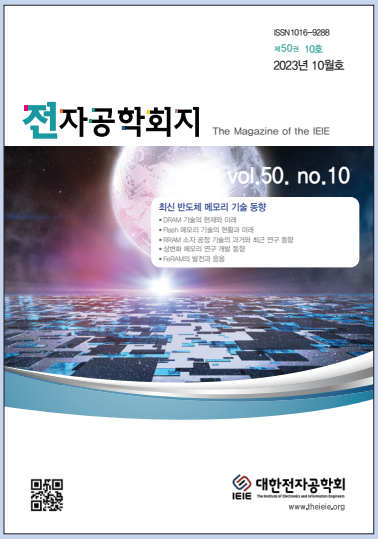
Trial가능,
문의 02-3474-5290
이희진 과장 hjlee@kitis.co.kr

IEEE | Authorized Dealer

키티스 産學研情報(株)
KITIS Info. & Co., Ltd.
www.kitis.co.kr / T. 02 3474 5290

CONTENTS

제50권 10호 (2023년 10월)



※ 학회지 10월호 표지 (vol 50. No 10)

학회소식

특집 : 최신 반도체 메모리 기술 동향

회원광장

정보교차로

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

2023년도 임원 및 각 위원회 위원

회 장	이 혁 재 (서울대학교 교수)	
수석부회장	이 충 용 (연세대학교 교수) – 총괄 / AI	
고 문	권 오 경 (한양대학교 석좌교수)	권 호 열 (정보통신정책연구원 원장)
	김 기 남 (삼성전자 종합기술원 회장)	김 영 재 (해동과학문화재단 이사장)
	박 성 욱 (SK하이닉스㈜ 부회장)	방 승 찬 (한국전자통신연구원 원장)
	신 희 동 (한국전자기술연구원 원장)	안 승 권 (연암공과대학교 총장)
	윤 석 진 (한국과학기술연구원 원장)	전 영 현 (삼성SDI㈜ 부회장)
	천 경 준 (㈜씨젠 회장)	최 창 식 (㈜DB하이텍 부회장)
감 사	백 광 현 (중앙대학교 교수) – ITC-CSCC	인 치 호 (세명대학교 교수)
부 회 장	강 문 식 (강릉원주대학교 교수) – 교육 / 표준화	김 종 옥 (고려대학교 교수) – 국제협력 / ICCE-Asia / 영문논문
	노 원 우 (연세대학교 교수) – 하계 및 추계학술 총괄 / 국문논문	노 태 문 (한국전자통신연구원 센터장) – 연구소
	류 수 정 (㈜사피온코리아 대표이사) – 회원 / 여성	심 동 규 (광운대학교 교수) – SPC 영문지
	이 승 호 (한밭대학교 교수) – 지부	이 용 욱 (한화시스템 부사장) – 산학연
	이 재 관 (한국자동차연구원 소장) – 산학연	이 재 훈 (유정시스템㈜ 대표이사) – 산학연
	정 영 모 (한성대학교 교수) – 홍보 총괄 / 정보화 / 학회지	황 인 철 (강원대학교 교수) – 사업 / 대외협력
소사이어티 회장	유 명 식 (숭실대학교 교수) – 통신	김 진 상 (경희대학교 교수) – 반도체
	최 용 수 (신한대학교 교수) – 컴퓨터	송 병 철 (인하대학교 교수) – 인공지능신호처리
	김 영 진 (한국생산기술연구원 수석연구원) – 시스템 및 제어	김 은 원 (대림대학교 교수) – 산업전자
협동부회장	강 민 석 (LG이노텍㈜ 부사장)	강 성 원 (한국전자통신연구원 부원장)
	김 강 태 (삼성전자㈜ 부사장)	김 달 수 (㈜티엘아이 대표이사)
	김 부 균 (숭실대학교 교수)	김 상 태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)
	김 영 한 (UC San Diego / 가우스랩스 대표이사)	김 형 준 (한국과학기술연구원 소장)
	김 후 식 (㈜뷰웍스 대표이사)	남 궁 선 (㈜유니트론텍 부회장)
	손 보 익 (㈜LX세미콘 대표이사)	송 문 섭 (㈜심텍 회장)
	엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)	오 윤 제 (정보통신기획평가원 PM)
	유 창 동 (한국과학기술원 교수)	이 광 엽 (서경대학교 교수)
	이 동 규 (㈜카카오모빌리티 부사장)	이 병 선 (김포대학교 교수)
	이 서 규 (한국팹리스산업협회 회장)	이 장 규 (㈜텔레칩스 대표이사)
	이 창 한 (한국반도체산업협회 상근부회장)	전 병 우 (성균관대학교 교수)
	전 선 익 (파이낸셜뉴스 회장)	정 준 (㈜쓸리드 대표이사)
	정 은 승 (삼성전자㈜ 고문)	
상 임 이 사	강 명 곤 (한국교통대학교 교수) – 회원	강 석 주 (서강대학교 교수) – 재무
	구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장) – 하계학술	권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 국제협력(ICCE-Asia)
	권 혁 인 (중앙대학교 교수) – 국제협력(ITC-CSCC)	김 동 순 (세종대학교 교수) – 대외협력(정책)
	김 수 연 (동국대학교 교수) – 홍보	김 용 신 (고려대학교 교수) – 국제협력 총괄(ICCE-Asia)
	김 원 종 (한국전자통신연구원 실장) – 표준화	김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장) – 사업
	김 중 헌 (고려대학교 교수) – 사업	김 재 준 (서울대학교 교수) – JSTS 영문지
	김 지 훈 (이화여자대학교 교수) – 기획	김 철 우 (고려대학교 교수) – 사업
	김 현 (서울과학기술대학교 교수) – 총무	김 훈 (인천대학교 교수) – 대외협력 총괄
	류 현 석 (서울대학교 교수) – 교육(산업체)	변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터) – 교육 총괄
	선 우 경 (서울대학교 교수) – 회원 총괄	손 교 민 (삼성전자㈜ 마스터) – 산학연
	양 준 성 (연세대학교 교수) – 학회지	연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장) – 산학연 총괄
	유 찬 세 (한국전자기술연구원 센터장) – 사업 총괄	이 남 윤 (고려대학교 교수) – 사업
	이 채 은 (인하대학교 교수) – 총무 총괄	장 익 준 (경희대학교 교수) – 하계학술
	전 세 영 (서울대학교 교수) – AI	정 진 곤 (중앙대학교 교수) – 국문논문
	제 민 규 (한국과학기술원 교수) – 사업	조 성 현 (한양대학교 교수) – 정보화
	최 기 창 (서울대학교 교수) – 산학연	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장) – 산학연
	최 재 혁 (서울대학교 교수) – 홍보	한 재 호 (고려대학교 교수) – 추계학술
산업체이사	강 석 판 (LG전자㈜ 상무)	고 용 남 (하나마이크론㈜ 전무)
	김 녹 원 (㈜딥엑스 대표이사)	김 동 현 (ICTK㈜ 대표이사)
	김 태 진 (㈜더즈텍 대표이사)	김 현 수 (삼성전자㈜ 상무)
	배 순 민 (㈜케이티 연구소장)	오 의 열 (LG디스플레이㈜ 연구위원)
	우 정 호 (비전넥스트㈜ 대표이사)	원 제 형 (도쿄일렉트론코리아㈜ 대표이사)
	윤 영 권 (삼성전자㈜ 마스터)	이 도 훈 (국가보안기술연구소 부소장)
	이 상 만 (고려대학교 교수)	이 상 훈 (㈜웨이브피아 대표이사)
	이 수 민 (한국센서연구소 대표이사)	이 수 인 (㈜텔레칩스 상무)
	조 영 민 (SkyMirr CEO)	조 혜 정 (삼성물산㈜ 상무)
	천 이 우 (㈜넥스트칩 연구소장)	최 성 민 (㈜해치텍 대표이사)

	한 은 혜 (에스에스앤씨㈜ 대표이사)
	홍 국 태 (㈜LX세미콘 연구위원)
이 사	고 병 철 (계명대학교 교수) – 학술(하계)
	권 기 룡 (부경대학교 교수) – 학술(하계)
	김 민 규 (LG이노텍㈜ 상무) – 산학연
	김 성 우 (서울대학교 교수) – 대외협력
	김 유 철 (LG AI연구원 부문장) – AI
	김 재 욱 (한국과학기술연구원 선임연구원) – 학술(하계)
	박 성 정 (건국대학교 교수) – 국제협력
	백 종 덕 (연세대학교 교수) – AI
	심 현 정 (한국과학기술원 교수) – AI
	안 상 철 (한국과학기술연구원 책임연구원) – AI
	원 용 욱 (명지대학교 교수) – 학술(추계)
	윤 종 윤 (㈜파두 사장) – 교육
	이 구 순 (파이낸셜뉴스 부국장) – 홍보
	이 창 우 (가톨릭대학교 교수) – 홍보
	임 동 구 (전북대학교 교수) – 정보화
	장 지 원 (연세대학교 교수) – 학회지
	정 무 경 (㈜사피온코리아 CTO) – AI
	정 해 준 (경희대학교 교수) – 국문논문
	차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수) – 정보화
	최 광 성 (한국전자통신연구원 실장) – 대외협력
	최 정 욱 (한양대학교 교수) – 학회지
	하 태 준 (광운대학교 교수) – 학술(추계)
	한 정 환 (충남대학교 교수) – 정보화
	한 태 희 (성균관대학교 교수) – 국문논문
	황 진 영 (한국항공대학교 교수) – 홍보
협 동 이 사	구 민 석 (인천대학교 교수) – 기획
	권 경 하 (한국과학기술원 교수) – 사업
	김 대 영 (순천향대학교 교수) – 호서지부
	김 사 혁 (KISDI 책임연구원) – 대외협력
	김 승 환 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 학술(추계)
	김 형 진 (인하대학교 교수) – 회원
	민 경 식 (국민대학교 교수) – 회원
	박 성 욱 (강릉원주대학교 교수) – 강원지부
	배 준 호 (가천대학교 교수) – 표준화
	서 종 열 (LG전자㈜ 그룹장) – 산학연
	송 준 영 (인천대학교 교수) – 홍보
	신 세 운 (UNIST 교수) – 사업
	안 진 호 (호서대학교 교수) – 학회지
	유 경 창 (삼성전자㈜ 수석연구원) – 회원
	유 호 영 (충남대학교 교수) – 대전 · 충남지부
	윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원) – 사업
	이 권 형 (LG전자㈜ 책임연구원) – 대외협력
	이 왕 상 (경상국립대학교 교수) – 부산 · 경남 · 울산지부
	이 재 규 (삼성전자㈜ 마스터) – 산학연
	이 지 훈 (전북대학교 교수) – 전북지부
	임 승 찬 (한경국립대학교 교수) – 국문논문
	정 민 채 (세종대학교 교수) – 국문논문
	정 성 엽 (차세대융합기술연구원 실장) – 학술(하계)
	정 재 용 (인천대학교 교수) – 학회지
	채 관 엽 (삼성전자㈜ 마스터) – 국제협력
	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) – SPC 영문지
	최 웅 (숙명여자대학교 교수) – 회원
	추 상 혁 (현대자동차㈜ 책임매니저) – 정보화
	함 철 희 (삼성전자㈜ 마스터)
	권 구 덕 (강원대학교 교수) – 기획
	권 태 수 (서울과학기술대학교 교수) – 정보화
	김 선 욱 (고려대학교 교수) – 교육
	김 소 영 (성균관대학교 교수) – SPC 영문지
	김 윤 (서울시립대학교 교수) – 기획/회원
	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수) – 교육
	배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 학술(추계)
	변 영 재 (UNIST 교수) – 교육
	안 광 호 (한국전자기술연구원 센터장) – 대외협력
	안 호 균 (한국전자통신연구원 실장) – 사업
	윤 상 민 (국민대학교 교수) – 학술(추계)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수) – SPC 영문지
	이 영 택 (ASML 전무) – 교육
	이 형 민 (고려대학교 교수) – 대외협력
	장 성 욱 (㈜카카오모빌리티 부사장) – AI
	전 동 석 (서울대학교 교수) – 학술(하계)
	정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장) – 산학연
	조 성 재 (이화여자대학교 교수) – 기획
	채 영 철 (연세대학교 교수) – 회원
	최 영 규 (인하대학교 교수) – 학술(하계)
	하 정 우 (네이버 AI연구소장) – AI
	한 동 국 (국민대학교 교수) – 사업
	한 진 호 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 국제협력
	허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 사업
	황 태 호 (한국전자기술연구원 본부장) – 학술(하계)
	권 건 우 (홍익대학교 교수) – 학술(하계)
	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원) – 학술(추계)
	김 범 현 (한양대학교 교수) – 정보화
	김 시 준 (강원대학교 교수) – 사업
	김 정 석 (가천대학교 교수) – 국제협력
	류 성 주 (서강대학교 교수) – 학술(하계)
	박 관 서 (연세대학교 교수) – 학술(추계)
	배 준 성 (강원대학교 교수) – 정보화
	서 민 재 (가천대학교 교수) – 기획/홍보
	송 익 현 (한양대학교 교수) – 회원
	송 철 (DGIST 교수) – 학술(추계)
	심 용 (중앙대학교 교수) – 홍보
	오 윤 호 (고려대학교 교수) – 학술(추계)
	유 동 훈 (디사일로 연구소장) – 회원
	윤 명 국 (이화여자대학교 교수) – AI
	윤 희 인 (UNIST 교수) – 홍보
	이 성 학 (경북대학교 교수) – 대구 · 경북지부
	이 인 영 (조선대학교 교수) – 광주 · 전남지부
	이 정 원 (서울대학교 교수) – 회원/사업
	임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원) – 사업
	장 지 수 (삼성전자㈜ PE) – 사업
	정 방 철 (충남대학교 교수) – 정보화
	정 완 영 (한국과학기술원 교수) – 홍보
	차 철 웅 (한국전자기술연구원 센터장) – 표준화
	채 주 형 (광운대학교 교수) – 총무
	최 병 수 (부경대학교 교수) – 교육
	추 민 성 (한양대학교 교수) – 학술(하계)/홍보
	황 원 준 (아주대학교 교수) – AI

지부장 명단

강 원 지 부	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
대구·경북지부	공 성 호 (경북대학교 교수)
부산·경남·울산지부	고 진 환 (경상대학교 교수)
제 주 지 부	고 석 준 (제주대학교 교수)
호 서 지 부	강 윤 희 (백석대학교 교수)
미 국	최 명 준 (텔레다인 박사)
광주·전남지부	최 수 일 (전남대학교 교수)
대전·충남지부	김 철 영 (충남대학교 교수)
전 북 지 부	이 주 연 (전주비전대학교 교수)
충 북 지 부	조 문 규 (한국교통대학교 교수)
일 본	백 인 천 (AIZU대학교 교수)
러시아지부	Prof. Edis B. TEN (National University of Science and Technology)

위원회 명단

자문위원회

위 원 장	김 도 현 (국민대학교 명예교수)		
부 위 원 장	박 항 구 (소암시스텔 회장)		
위 원	고 성 제 (고려대학교 교수)	공 준 진 (삼성전자공과대학교 주임교수)	구 용 서 (단국대학교 교수)
	김 성 대 (한국과학기술원 명예교수)	김 수 중 (경북대학교 명예교수)	김 영 권 (건국대학교 명예교수)
	김 재 희 (연세대학교 명예교수)	나 정 웅 (한국과학기술원 명예교수)	문 영 식 (한양대학교 교수)
	박 규 태 (연세대학교 명예교수)	박 성 한 (한양대학교 명예교수)	박 진 옥 (육군사관학교 명예교수)
	백 준 기 (중앙대학교 교수)	서 승 우 (서울대학교 교수)	서 정 욱 ((전) 과학기술부 장관)
	성 굉 모 (서울대학교 명예교수)	윤 종 용 (한국공학교육인증원 이사장)	이 문 기 (연세대학교 명예교수)
	이 상 설 (한양대학교 명예교수)	이 재 홍 (서울대학교 명예교수)	이 진 구 (동국대학교 명예교수)
	이 충 웅 (서울대학교 명예교수)	이 태 원 (고려대학교 명예교수)	임 제 탁 (한양대학교 명예교수)
	임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)	전 국 진 (서울대학교 명예교수)	전 홍 태 (중앙대학교 명예교수)
	정 정 화 (한양대학교 명예교수)	홍 대 식 (연세대학교 교수)	홍 승 홍 (인하대학교 명예교수)

기획위원회

위 원 장	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)		
부 위 원 장	조 성 재 (이화여자대학교 교수)		
위 원	권 구 덕 (강원대학교 교수)	구 민 석 (인천대학교 교수)	서 민 재 (가천대학교 교수)
	김 윤 (서울시립대학교 교수)		

학술연구위원회 – 하계

위 원 장	노 원 우 (연세대학교 교수)		
부 위 원 장	장 익 준 (경희대학교 교수)	구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장)	
위 원	고 병 철 (계명대학교 교수)	권 건 우 (홍익대학교 교수)	권 기 룡 (부경대학교 교수)
	김 윤 (서울시립대학교 교수)	김 재 욱 (KIST 그룹장)	류 성 주 (서강대학교 교수)
	변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터)	양 준 성 (연세대학교 교수)	이 종 호 (숭실대학교 교수)
	전 동 석 (서울대학교 교수)	정 성 엽 (차세대융합기술연구원 실장)	최 민 석 (경희대학교 교수)
	최 영 규 (인하대학교 교수)	최 정 욱 (한양대학교 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)
	황 태 호 (한국전자기술연구원 본부장)		

학술연구위원회 – 추계

위 원 장	노 원 우 (연세대학교 교수)	한 재 호 (고려대학교 교수)	
위 원	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	김 승 환 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김 진 영 (광운대학교 교수)
	박 관 서 (연세대학교 교수)	배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원)	송 철 (DGIST 교수)
	오 윤 호 (고려대학교 교수)	원 용 욱 (명지대학교 교수)	윤 상 민 (국민대학교 교수)
	하 태 준 (광운대학교 교수)		

논문편집위원회

위 원 장	정 진 곤 (중앙대학교 교수)		
부 위 원 장	정 해 준 (경희대학교 교수)		
위 원	강 성 복 (한국생산기술연구원 수석연구원)	강 제 원 (이화여자대학교 교수)	공 규 열 (한성대학교 교수)
	권 구 덕 (강원대학교 교수)	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	김 기 연 (한국산업기술시험원 박사)
	김 명 선 (한성대학교 교수)	김 상 범 (한국폴리텍대학교 교수)	김 선 용 (건국대학교 교수)
	김 영 로 (명지전문대학교 교수)	김 영 선 (대림대학교 교수)	김 태 환 (한국항공대학교 교수)
	김 학 구 (중앙대학교 교수)	심 규 성 (한경대학교 교수)	유 재 준 (UNIST 교수)
	임 민 중 (동국대학교 교수)	임 승 찬 (한경국립대학교 교수)	정 민 채 (세종대학교 교수)
	조 성 인 (동국대학교 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)	

국제협력위원회

위 원 장	김 용 신 (고려대학교 교수)	김 종 옥 (고려대학교 교수)	
부 위 원 장	권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원)	권 혁 인 (중앙대학교 교수)	
위 원	김 정 석 (가천대학교 교수)	박 성 정 (건국대학교 교수)	채 관 엽 (삼성전자㈜ 마스터)
	최 웅 (숙명여대 교수)	한 진 호 (한국전자통신연구원 책임연구원)	

대외협력위원회

위 원 장	김 훈 (인천대학교 교수)		
부 위 원 장	김 성 우 (서울대학교 교수)	연 규 봉 (한국자동차연구원 책임연구원)	
위 원	김 동 순 (세종대학교 교수)	김 사 혁 (KISDI 책임연구원)	김 원 종 (한국전자통신연구원 실장)

	김 형 준 (한국전자통신연구원 센터장)	안 광 호 (한국전자기술연구원 센터장)	이 권 형 (LG전자㈜ 책임연구원)
	이 형 민 (고려대학교 교수)	최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)	한 상 욱 (삼성전자㈜ 책임연구원)
	황 성 운 (가천대학교 교수)		

산학연협동위원회

위 원 장	연 규 봉 (한국자동차연구원 실장)		
위 원	김 민 규 (LG이노텍㈜ 상무)	김 원 종 (한국전자통신연구원 실장)	서 종 열 (LG전자㈜ 그룹장)
	손 교 민 (삼성전자㈜ 마스터)	이 용 욱 (한화시스템 부사장)	이 재 관 (한국자동차연구원 소장)
	이 재 규 (삼성전자㈜ 마스터)	이 재 훈 (유정시스템 대표이사)	정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)
	최 기 창 (서울대학교 교수)	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)	

회원관리위원회

위 원 장	선 우 경 (서울대학교 교수)		
부 위 원 장	강 명 곤 (한국교통대학교 교수)		
위 원	김 윤 (서울시립대학교 교수)	김 형 진 (인하대학교 교수)	민 경 식 (국민대학교 교수)
	배 종 호 (국민대학교 교수)	송 익 현 (한양대학교 교수)	유 경 창 (삼성전자㈜ 수석연구원)
	유 동 훈 (디사일로 연구소장)	이 상 훈 (㈜웨이브피아 대표이사)	이 정 원 (서울대학교 교수)
	채 영 철 (연세대학교 교수)	최 웅 (숙명여자대학교 교수)	

회지편집위원회

위 원 장	양 준 성 (연세대학교 교수)		
위 원	박 관 서 (연세대학교 교수)	박 승 창 (㈜유오씨 사장)	안 진 호 (호서대학교 교수)
	윤 석 현 (단국대학교 교수)	장 지 원 (연세대학교 교수)	정 재 용 (인천대학교 교수)
	최 정 욱 (한양대학교 교수)	한 태 화 (연세대학교 의료원 팀장)	허 준 (고려대학교 교수)

사업위원회

위 원 장(총괄)	유 찬 세 (한국전자기술연구원 센터장)		
위 원 장	김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장)	김 중 헌 (고려대학교 교수)	김 철 우 (고려대학교 교수)
	선 우 경 (서울대학교 교수)	이 남 윤 (고려대학교 교수)	제 민 규 (한국과학기술원 교수)
위 원	권 경 하 (한국과학기술원 교수)	김 시 준 (강원대학교 교수)	송 준 영 (인천대학교 교수)
	신 세 운 (UNIST 교수)	안 호 균 (한국전자통신연구원 실장)	윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
	이 정 원 (서울대학교 교수)	임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원)	장 지 수 (삼성전자㈜ PE)
	한 동 국 (국민대학교 교수)	허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원)	

교육연구위원회

위 원 장	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)		
부 위 원 장	변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터)		
위 원	김 선 욱 (고려대학교 교수)	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)	류 현 석 (서울대학교 교수)
	박 영 우 (TEL 부사장)	변 영 재 (UNIST 교수)	윤 종 윤 (㈜파두 사장)
	이 영 택 (ASML 전무)	이 후 진 (한성대학교 교수)	최 병 수 (한국전자통신연구원 실장)

홍보위원회

위 원 장	정 영 모 (한성대학교 교수)		
부 위 원 장	김 수 연 (동국대학교 교수)	최 재 혁 (서울대학교 교수)	
위 원	서 민 재 (가천대학교 교수)	송 준 영 (인천대학교 교수)	심 용 (중앙대학교 교수)
	윤 희 인 (UNIST 교수)	이 구 순 (파이낸셜뉴스 부국장)	이 창 우 (가톨릭대학교 교수)
	정 완 영 (한국과학기술원 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)	황 진 영 (한국항공대학교 교수)

표준화위원회

위 원 장	김 원 종 (한국전자통신연구원 실장)		
부 위 원 장	연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장)		
위 원	권 기 원 (성균관대학교 교수)	김 성 동 (서울과학기술대학교 교수)	박 재 영 (광운대학교 교수)
	배 준 호 (가천대학교 교수)	이 상 근 (성균관대학교 교수)	이 종 묵 (SOL 대표)
	좌 성 훈 (서울과학기술대학교 교수)	차 철 웅 (한국전자기술연구원 센터장)	한 태 수 (한국전자기술연구원 연구위원)

정보화위원회

위 원 장	조 성 현 (한양대학교 교수)		
위 원	권 태 수 (서울과학기술대학교 교수)	김 범 현 (한양대학교 교수)	김 중 헌 (고려대학교 교수)
	배 준 성 (강원대학교 교수)	임 동 구 (전북대학교 교수)	정 방 철 (충남대학교 교수)
	차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수)	추 상 혁 (현대자동차㈜ 책임매니저)	한 정 환 (충남대학교 교수)

AI위원회

위 원 장	이 충 용 (연세대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 유 철 (LG AI연구원 부문장)	백 종 덕 (연세대학교 교수)
	심 현 정 (한국과학기술원 교수)	안 상 철 (KIST 책임연구원)	윤 명 국 (이화여자대학교 교수)
	정 무 경 (㈜사피온코리아 CTO)	한 재 호 (고려대학교 교수)	황 원 준 (아주대학교 교수)

지부담당위원회

위 원 장	이 승 호 (한밭대학교 교수)		
위 원	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	강 윤 희 (백석대학교 교수)	고 석 준 (제주대학교 교수)
	고 진 환 (경상대학교 교수)	공 성 호 (경북대학교 교수)	김 철 영 (충남대학교 교수)
	이 주 연 (전주비전대학교 교수)	최 수 일 (전남대학교 교수)	조 문 규 (한국교통대학교 교수)

선거관리위원회

위 원 장	이 재 홍 (서울대학교 명예교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)
	이 채 은 (인하대학교 교수)	장 익 준 (경희대학교 교수)	정 진 곤 (중앙대학교 교수)

포상위원회

위 원 장	최 천 원 (단국대학교 교수)		
위 원	김 종 옥 (고려대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	노 원 우 (연세대학교 교수)
	이 충 용 (연세대학교 교수)	황 인 철 (강원대학교 교수)	
위원 및 간사겸임	이 채 은 (인하대학교 교수)		

재정위원회

위 원 장	이 혁 재 (서울대학교 교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	박 성 한 (명예회장)	박 영 기 (㈜싸인텔레콤 대표이사)
	원 제 형 (도쿄일렉트론코리아㈜ 대표이사)	유 창 동 (한국과학기술원 교수)	이 윤 종 ((전) ㈜DB하이텍 부사장)
	이 충 용 (연세대학교 교수)	인 치 호 (세명대학교 교수)	조 중 휘 (인천대학교 교수)

인사위원회

위 원 장	이 혁 재 (서울대학교 교수)		
위 원	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	강 석 주 (서강대학교 교수)	이 채 은 (인하대학교 교수)
	이 충 용 (연세대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	

JSTS 편집위원회

위 원 장	김 재 준 (서울대학교 교수)		
위 원	강 인 만 (경북대학교 교수)	권 혁 인 (중앙대학교 교수)	김 상 범 (서울대학교 교수)
	김 소 영 (성균관대학교 교수)	김 재 준 (포항공과대학교 교수)	김 주 성 (한밭대학교 교수)
	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	남 일 구 (부산대학교 교수)	민 경 식 (국민대학교 교수)
	박 성 주 (한양대학교 교수)	백 광 현 (중앙대학교 교수)	신 민 철 (한국과학기술원 교수)
	신 창 환 (고려대학교 교수)	오 정 우 (연세대학교 교수)	이 가 원 (충남대학교 교수)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	장 호 원 (서울대학교 교수)	정 재 경 (한양대학교 교수)
	조 성 재 (이화여자대학교 교수)	조 일 환 (명지대학교 교수)	차 호 영 (홍익대학교 교수)
	최 우 석 (서울대학교 교수)	최 우 영 (서울대학교 교수)	한 재 덕 (한양대학교 교수)

SPC위원회

위 원 장	심 동 규 (광운대학교 교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 선 욱 (고려대학교 교수)	김 소 영 (성균관대학교 교수)
	김 영 민 (홍익대학교 교수)	김 원 준 (건국대학교 교수)	김 재 곤 (한국항공대학교 교수)
	김 종 옥 (고려대학교 교수)	박 철 수 (광운대학교 교수)	백 준 기 (중앙대학교 교수)
	서 용 호 (광운대학교 교수)	송 병 철 (인하대학교 교수)	유 양 모 (서강대학교 교수)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	이 채 은 (인하대학교 교수)	전 병 우 (성균관대학교 교수)
	정 승 원 (동국대학교 교수)	조 남 익 (서울대학교 교수)	조 민 호 (고려대학교 교수)
	진 훈 (경기대학교 교수)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)	황 원 준 (아주대학교 교수)
	황 인 철 (강원대학교 교수)		

통신소사이어티

회 장	유 명 식 (숭실대학교 교수)		
부 회 장	김 선 용 (건국대학교 교수)	김 재 현 (아주대학교 교수)	김 진 영 (광운대학교 교수)
	김 훈 (인천대학교 교수)	오 정 근 (㈜ATNS 대표이사)	유 명 식 (숭실대학교 교수)
	윤 석 현 (단국대학교 교수)	이 정 우 (중앙대학교 교수)	최 천 원 (단국대학교 교수)
	허 준 (고려대학교 교수)		
감 사	이 재 진 (숭실대학교 교수)	이 흥 노 (광주과학기술원 교수)	
협동부회장	김 병 남 (에이스테크놀로지 연구소장)	김 연 은 (㈜브로던 대표이사)	김 영 한 (숭실대학교 교수)
	김 용 석 (㈜답스 대표이사)	김 인 경 (LG전자㈜ 상무)	류 승 문 ((사)개인공간서비스협회 수석부의장)
	박 용 석 (㈜LICT 대표이사)	방 승 찬 (한국전자통신연구원 부장)	연 철 흠 (LG텔레콤 상무)
	이 승 호 (㈜하이게인 부사장)	이 재 훈 (유정시스템㈜ 대표이사)	정 진 섭 (이노와이어리스 부사장)
	정 현 규 (한국전자통신연구원 부장)		
이 사	김 광 순 (연세대학교 교수)	김 성 훈 (한국전자통신연구원 박사)	김 정 호 (이화여자대학교 교수)
	노 윤 섭 (한국전자통신연구원 박사)	방 성 일 (단국대학교 교수)	서 철 헌 (숭실대학교 교수)
	성 원 진 (서강대학교 교수)	신 오 순 (숭실대학교 교수)	신 요 안 (숭실대학교 교수)
	윤 종 호 (한국항공대학교 교수)	윤 지 훈 (서울과학기술대학교 교수)	이 재 훈 (동국대학교 교수)
	이 종 호 (숭실대학교 교수)	이 호 경 (홍익대학교 교수)	임 종 태 (홍익대학교 교수)
	장 병 수 (이노벨류네트웍스 부사장)	조 성 현 (한양대학교 교수)	조 인 호 (에이스테크놀로지 박사)
	최 진 식 (한양대학교 교수)	허 서 원 (홍익대학교 교수)	
연구회위원장	최 지 웅 (DGIST 교수) – 통신		윤 상 민 (국민대학교 교수) – 지능형네트워크
	조 춘 식 (한국항공대학교 교수) – 마이크로파 및 전파전파		이 철 기 (아주대학교 교수) – ITS
	김 강 욱 (경북대학교 교수) – 군사전자		허 재 두 (한국전자통신연구원 본부장) – 무선 PAN/BAN
간 사	김 중 헌 (고려대학교 교수)		

반도체소사이어티

회 장	김 진 상 (경희대학교 교수)		
자 문 위 원	공 준 진 (삼성전자공과대학교 주임교수)	권 오 경 (한양대학교 석좌교수)	김 영 환 (포항공과대학교 교수)
	김 재 석 (연세대학교 교수)	김 희 석 (청주대학교 교수)	박 홍 준 (포항공과대학교 교수)
	선우명훈 (아주대학교 교수)	손 보 익 (㈜LX세미콘 대표이사)	신 윤 승 (반소 전임회장)
	신 현 철 (한양대학교 교수)	우 남 성 (반소 전임회장)	이 승 훈 (서강대학교 교수)
	임 신 일 (서경대학교 교수)	임 형 규 (반소 전임회장)	장 성 진 (삼성전자㈜ 자문위원)
	전 영 현 (삼성SDI㈜ 부회장)	정 연 모 (경희대학교 교수)	정 항 근 (전북대학교 교수)
	정 해 수 (Synopsys 사장)	조 경 순 (한국외국어대학교 교수)	조 상 복 (울산대학교 교수)
	조 중 휘 (인천대학교 교수)	최 기 영 (서울대학교 교수)	최 승 종 (웰랑 대표이사)
	허 염 (실리콘마이터스 대표이사)		
감 사	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	이 광 엽 (서경대학교 교수)	
부 회 장	김 동 규 (한양대학교 교수)	안 기 현 (한국반도체산업협회 전무)	이 한 호 (인하대학교 교수)
	이 희 덕 (충남대학교 교수)	장 성 진 (삼성전자㈜ 자문위원)	최 중 호 (서울시립대학교 교수)
총 무 이 사	고 형 호 (충남대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	류 현 석 (서울대학교 교수)
	박 종 선 (고려대학교 교수)	윤 찬 호 (삼성전자 마스터)	황 상 준 (삼성전자㈜ 부사장)
편 집 이 사	노 정 진 (한양대학교 교수)	유 창 식 (삼성전자 부사장)	조 성 재 (가천대학교 교수)
	한 태 희 (성균관대학교 교수)		
학 술 이 사	강 진 구 (인하대학교 교수)	김 철 우 (고려대학교 교수)	범 진 욱 (서강대학교 교수)
	변 영 재 (UNIST 교수)	송 민 규 (동국대학교 교수)	이 병 훈 (포항공과대학교 교수)
	이 승 호 (한밭대학교 교수)	이 혁 재 (서울대학교 교수)	이 희 덕 (충남대학교 교수)
	인 치 호 (세명대학교 교수)	정 진 균 (전북대학교 교수)	차 호 영 (홍익대학교 교수)
	최 우 영 (연세대학교 교수)	최 창 환 (한양대학교 교수)	
사 업 이 사	강 운 병 (삼성전자㈜ 마스터)	공 배 선 (성균관대학교 교수)	공 정 택 (성균관대학교 교수)
	김 동 순 (세종대학교 교수)	김 소 영 (성균관대학교 교수)	김 시 호 (연세대학교 교수)
	김 용 석 (성균관대학교 교수)	김 원 종 (한국전자통신연구원 실장)	김 종 선 (홍익대학교 교수)
	백 광 현 (중앙대학교 교수)	변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터)	손 교 민 (삼성전자㈜ 마스터)
	송 용 호 (삼성전자㈜ 부사장)	엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 연구위원)	오 정 우 (연세대학교 교수)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	조 태 제 (삼성전자㈜ 고문)	최 규 명 (서울대학교 교수)
	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)	최 윤 경 (고려대학교 교수)	최 준 림 (경북대학교 교수)
재 무 이 사	권 기 원 (성균관대학교 교수)	이 성 수 (숭실대학교 교수)	
산 학 이 사	김 경 수 (넥스트칩 대표이사)	김 동 현 (ICTK 사장)	김 보 은 (라온텍 사장)
	김 준 석 (ADT 사장)	나 준 호 (㈜LX세미콘 전무)	손 재 철 (어보브반도체 부사장)
	송 태 훈 (휴인스 사장)	신 용 석 (케이던스코리아 사장)	이 도 영 (옵토레인 사장)
	이 윤 종 (동부하이텍 부사장)	이 장 규 (텔레칩스 대표이사)	
회 원 이 사	노 원 우 (연세대학교 교수)	문 용 (숭실대학교 교수)	
연구회위원장	최 우 영 (서울대학교 교수) – 반도체소자및재료		김 상 인 (아주대학교 교수) – 광파및양자전자공학
	김 종 선 (홍익대학교 교수) – SoC설계		김 영 진 (한국항공대학교 교수) – RF집적회로
	정 원 영 (강운공업㈜ 본부장) – PCB&Package		김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장) – 정보보안시스템
	장 익 준 (경희대학교 교수) – 내방사선 반도체 설계 및 소자		김 한 구 (삼성전자공과대학교 교수) – ESD/EOS & Latchup
	노 원 우 (연세대학교 교수) – 인 메모리 컴퓨팅		
협 동 위 원	강 명 곤 (한국교통대학교 교수)	강 석 형 (포항공과대학교 교수)	권 구 덕 (강원대학교 교수)
	권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김 수 연 (동국대학교 교수)	김 영 민 (홍익대학교 교수)
	김 재 욱 (KIST 그룹장)	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	류 성 주 (서강대학교 교수)
	박 성 정 (건국대학교 교수)	송 준 영 (인천대학교 교수)	양 준 성 (연세대학교 교수)
	오 윤 호 (성균관대학교 교수)	윤 명 국 (이화여자대학교 교수)	이 영 주 (포항공과대학교 교수)
	이 우 주 (중앙대학교 교수)	이 윤 명 (성균관대학교 교수)	이 형 민 (고려대학교 교수)
	전 동 석 (서울대학교 교수)	전 성 훈 (삼성전자㈜ 상무)	정 무 경 (㈜사피온코리아 CTO)
	정 윤 호 (한국항공대학교 교수)	제 민 규 (한국과학기술원 교수)	채 형 일 (건국대학교 교수)
	최 재 혁 (서울대학교 교수)	최 재 혁 (성균관대학교 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)
	한 정 환 (충남대학교 교수)	황 태 호 (한국전자기술연구원 센터장)	김 태 환 (한국항공대학교 교수)

컴퓨터소사이어티

회 장	최 용 수 (신한대학교 교수)		
명 예 회 장	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	김 승 천 (한성대학교 교수)	김 형 중 (고려대학교 교수)
	박 인 정 (단국대학교 명예교수)	박 준 명 (한국교통대학교 교수)	신 인 철 (단국대학교 명예교수)
	안 병 구 (홍익대학교 교수)	안 현 식 (동명대학교 교수)	이 규 대 (공주대학교 교수)
	정 용 규 (을지대학교 교수)	허 영 (스마트의료기기산업진흥재단 부이사장)	홍 유 식 (상지대학교 교수)
	황 성 운 (가천대학교 교수)		
자 문 위 원	권 호 열 (강원대학교 교수)	남 상 엽 (국제대학교 교수)	정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원)
감 사	변 영 재 (UNIST 교수)	박 수 현 (국민대학교 교수)	
부 회 장	김 도 현 (제주대학교 교수)	심 정 연 (강남대학교 교수)	윤 은 준 (경일대학교 교수)
	조 민 호 (고려대학교 교수)		
협동부회장	강 상 욱 (상명대학교 교수)	김 병 서 (홍익대학교 교수)	김 영 학 (산업기술평가관리원 본부장)
	박 성 욱 (강릉원주대학교 교수)	우 운 택 (한국과학기술원 교수)	유 성 철 (LG히다찌 본부장)
	이 기 영 (인천대학교 교수)	이 후 진 (한성대학교 교수)	정 은 성 (홍익대학교 교수)
	황 인 정 (명지병원 책임연구원)		
총 무 이 사	김 진 홍 (배재대학교 교수)		
재 무 이 사	박 영 훈 (숙명여자대학교 교수)		
홍 보 이 사	이 덕 기 (연암공과대학교 교수)		
편 집 이 사	강 병 권 (순천향대학교 교수)	기 장 근 (공주대학교 교수)	김 선 욱 (고려대학교 교수)
	김 정 욱 (경희대학교 교수)	김 천 식 (세종대학교 교수)	김 한 울 (서울과학기술대학교 교수)
	노 소 영 (월송출판 대표이사)	심 규 성 (한경대학교 교수)	윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
	이 문 구 (김포대학교 교수)	이 민 호 (경북대학교 교수)	이 세 호 (전북대학교 교수)
	이 주 형 (가천대학교 교수)	이 찬 수 (영남대학교 교수)	정 혜 명 (김포대학교 교수)
	한 규 필 (금오공과대학교 교수)		
학 술 이 사	고 한 얼 (고려대학교 교수)	김 대 홍 (을지대학교 교수)	김 명 선 (한성대학교 교수)
	김 종 윤 (경동대학교 교수)	김 홍 균 (다스파워 이사)	백 광 현 (중앙대학교 교수)
	서 민 석 (고려대학교 교수)	오 희 석 (한성대학교 교수)	이 정 선 (을지대학교 교수)
	이 충 규 (조선대학교 교수)	임 경 원 (대림대학교 교수)	임 재 균 (명지병원 소장)
	한 상 민 (순천향대학교 교수)	한 영 선 (부경대학교 교수)	한 태 화 (연세대학교 의료원 팀장)
	황 석 중 (SK Telecom 박사)	황 재 정 (군산대학교 교수)	
사 업 이 사	박 승 창 (㈜유오씨 사장)	차 시 호 (청운대학교 교수)	황 진 영 (한국항공대학교 교수)
산 학 이 사	김 대 휘 (㈜한국정보통신 대표이사)	김 은 영 (투와이시스템즈 이사)	김 효 선 (연세세브란스병원 연구원)
	서 봉 상 (㈜올포랜드 이사)	송 치 봉 (웨이버스 이사)	신 동 희 (대보정보통신 부장)
	오 승 훈 (주얼린 대표이사)	이 재 홍 (유비벨록스모바일 대표이사)	이 학 준 (이노지에스코리아 연구소장)
	조 병 순 (CNC instrument 사장)	조 병 영 (㈜태진인포텍 전무)	진 훈 (경기대학교 교수)

연구회위원장	심 정 연 (강남대학교 교수) – 멀티미디어	진 훈 (경기대학교 교수) – 휴먼ICT
	윤 은 준 (경일대학교 교수) – 융합컴퓨팅	이 민 호 (경북대학교 교수) – 인공지능/신경망/퍼지
	김 도 현 (제주대학교 교수) – M2M/IoT	우 운 택 (한국과학기술원 교수) – 증강휴먼
	황 성 운 (가천대학교 교수) – 인공지능 및 보안	김 명 선 (한성대학교 교수) – AI응용
	정 은 성 (홍익대학교 교수) – 블록체인	

인공지능 신호처리소사이어티

회 장	송 병 철 (인하대학교 교수)		
자 문 위 원	김 정 태 (이화여자대학교 교수)	김 종 옥 (고려대학교 교수)	김 창 익 (한국과학기술원 교수)
	김 홍 국 (광주과학기술원 교수)	박 종 일 (한양대학교 교수)	심 동 규 (광운대학교 교수)
	이 영 렬 (세종대학교 교수)	전 병 우 (성균관대학교 교수)	조 남 익 (서울대학교 교수)
	홍 민 철 (숭실대학교 교수)		
부 회 장	고 병 철 (계명대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	정 승 원 (고려대학교 교수)
협동부회장	강 경 진 (LG전자 연구위원)	권 기 룡 (부경대학교 교수)	김 남 수 (서울대학교 교수)
	김 진 웅 (한국전자통신연구원 그룹장)	김 창 수 (고려대학교 교수)	백 준 기 (중앙대학교 교수)
	예 종 철 (한국과학기술원 교수)	윤 재 웅 (LG전자 연구위원)	이 병 욱 (이화여자대학교 교수)
	이 찬 수 (영남대학교 교수)	지 인 호 (홍익대학교 교수)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
	최 병 호 (한국전자기술연구원 센터장)	하 정 우 (네이버 AI연구소장)	한 재 준 (삼성전자㈜ 마스터)
이 사	이 채 은 (인하대학교 교수)	강 제 원 (이화여자대학교 교수)	고 영 준 (충남대학교 교수)
	고 종 환 (성균관대학교 교수)	고 현 석 (한양대학교 교수)	곽 노 준 (서울대학교 교수)
	곽 수 영 (한밭대학교 교수)	곽 수 하 (포스텍 교수)	구 본 학 (LG전자 연구원)
	김 승 룡 (고려대학교 교수)	김 준 모 (한국과학기술원 교수)	김 진 규 (고려대학교 교수)
	김 태 현 (한양대학교 교수)	김 학 구 (중앙대학교 교수)	김 한 울 (서울과학기술대학교 교수)
	김 휘 용 (경희대학교 교수)	박 상 현 (DGIST 교수)	박 영 경 (이화여자대학교 교수)
	박 인 규 (인하대학교 교수)	박 철 수 (광운대학교 교수)	백 종 덕 (연세대학교 교수)
	신 종 원 (광주과학기술원 교수)	심 재 영 (UNIST 교수)	심 현 정 (연세대학교 교수)
	오 병 태 (한국항공대학교 교수)	우 성 민 (한국기술교육대학교 교수)	우 운 택 (한국과학기술원 교수)
	유 윤 규 (두산인프라코어 연구원)	유 재 준 (UNIST 교수)	유 종 빈 (아주대학교 교수)
	유 현 우 (UNIST 교수)	윤 정 인 (한화디펜스 연구원)	이 금 하 (KT 연구원)
	이 덕 우 (계명대학교 교수)	이 범 식 (조선대학교 교수)	이 상 철 (인하대학교 교수)
	이 윤 구 (광운대학교 교수)	이 철 (동국대학교 교수)	임 성 훈 (DGIST 교수)
	장 준 혁 (한양대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	정 교 일 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
	정 영 주 (숙명여자대학교 교수)	정 희 철 (경북대학교 교수)	조 동 현 (충남대학교 교수)
	조 성 인 (동국대학교 교수)	조 성 현 (포스텍 교수)	차 영 수 (고려대학교 교수)
	최 동 걸 (한밭대학교 교수)	최 성 준 (고려대학교 교수)	최 욱 (인천대학교 교수)
	최 종 원 (중앙대학교 교수)	최 종 현 (연세대학교 교수)	최 해 철 (한밭대학교 교수)
	한 보 형 (서울대학교 교수)	한 재 호 (고려대학교 교수)	함 범 섭 (연세대학교 교수)
	홍 성 은 (인하대학교 교수)	황 효 석 (경희대학교 교수)	
협 동 이 사	권 준 석 (중앙대학교 교수)	강 현 수 (충북대학교 교수)	곽 노 준 (서울대학교 교수)
	곽 진 태 (고려대학교 교수)	구 형 일 (아주대학교 교수)	권 구 락 (조선대학교 교수)
	김 광 주 (한국전자통신연구원 연구원)	김 기 백 (숭실대학교 교수)	김 동 현 (연세대학교 교수)
	김 상 효 (성균관대학교 교수)	김 선 주 (연세대학교 교수)	김 용 환 (한국전자기술연구원 수석연구원)
	김 원 하 (경희대학교 교수)	김 재 곤 (한국항공대학교 교수)	김 정 진 (계명대학교 교수)
	김 종 민 (강원대학교 교수)	김 중 욱 (한국항공우주연구원 연구원)	김 진 우 (경성대학교 교수)
	김 해 광 (세종대학교 교수)	남 승 우 (한국전자통신연구원 연구원)	박 구 만 (서울과학기술대학교 교수)
	박 구 만 (서울과학기술대학교 교수)	박 상 윤 (명지대학교 교수)	박 성 홍 (한국과학기술원 교수)
	박 현 진 (성균관대학교 교수)	박 호 종 (광운대학교 교수)	배 성 호 (경희대학교 교수)
	서 영 호 (광운대학교 교수)	서 정 일 (한국전자통신연구원 박사)	서 진 근 (연세대학교 교수)

	손 광 훈 (연세대학교 교수)	송 진 호 (연세대학교 교수)	신 재 섭 (㈜픽스트리 대표이사)
	신 지 태 (성균관대학교 교수)	심 학 준 (캐논메디칼시스템즈코리아 박사)	양 현 종 (UNIST 교수)
	어 영 정 (연세대학교 교수)	엄 일 규 (부산대학교 교수)	오 세 홍 (한국외국어대학교 교수)
	오 태 현 (포스텍 교수)	유 명 호 (인텔리빅스 대표이사)	유 양 모 (서강대학교 교수)
	윤 국 진 (한국과학기술원 교수)	윤 일 동 (한국외국어대학교 교수)	이 기 승 (건국대학교 교수)
	이 상 근 (중앙대학교 교수)	이 상 윤 (연세대학교 교수)	이 상 헌 (DGIST 교수)
	이 상 훈 (연세대학교 교수)	이 승 용 (포스텍 교수)	이 연 정 (경북대학교 교수)
	이 의 진 (서울과학기술대학교 교수)	이 장 원 (한국항공대학교 교수)	이 재 성 (서울대학교 교수)
	이 종 석 (연세대학교 교수)	이 종 설 (한국전자기술연구원 책임연구원)	이 종 하 (계명대학교 교수)
	이 준 재 (계명대학교 교수)	이 준 호 (성균관대학교 교수)	이 창 우 (가톨릭대학교 교수)
	임 재 열 (한국기술교육대학교 교수)	임 재 윤 (제주대학교 교수)	임 종 우 (한양대학교 교수)
	장 세 진 (한국전자기술연구원 센터장)	장 용 준 (제주한라대학교 교수)	장 인 수 (한국전자통신연구원 연구원)
	전 기 완 (국가수리과학연구소 박사)	전 해 곤 (광주과학기술원 교수)	정 미 라 (계명대학교 교수)
	정 원 기 (고려대학교 교수)	정 찬 호 (한밭대학교 교수)	정 호 기 (한국교통대학교 교수)
	정 호 열 (영남대학교 교수)	정 홍 (HDXWILL 박사)	조 승 룡 (한국과학기술원 교수)
	조 윤 지 (네이버 연구원)	진 현 성 (제주대학교 교수)	최 승 호 (서울과학기술대학교 교수)
	최 윤 식 (연세대학교 교수)	최 장 환 (이화여자대학교 교수)	최 준 원 (한양대학교 교수)
	최 현 철 (영남대학교 교수)	한 종 기 (세종대학교 교수)	허 용 석 (아주대학교 교수)
	홍 성 훈 (전남대학교 교수)	황 도 식 (연세대학교 교수)	황 성 주 (한국과학기술원 교수)
	황 영 배 (충북대학교 교수)		
감 사	김 휘 용 (경희대학교 교수)	한 재 호 (고려대학교 교수)	
총 무	민 동 보 (이화여자대학교 교수)		
연구회위원장	강 석 주 (서강대학교 교수) – 영상처리		김 원 준 (건국대학교 교수) – 영상이해
	이 종 호 (서울대학교 교수) – 바이오영상신호처리		황 원 준 (아주대학교 교수) – 딥러닝
	장 길 진 (경북대학교 교수) – 음향 및 음성신호처리		김 성 우 (서울대학교 교수) – 로봇 지능

시스템 및 제어소사이어티

회 장	김 영 진 (한국생산기술연구원 수석연구원)		
부 회 장	이 덕 진 (전북대학교 교수)	주 영 복 (한국기술교육대학교 교수)	
감 사	김 영 철 (군산대학교 교수)	정 길 도 (전북대학교 교수)	
편집/학술이사	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	강 성 복 (한국생산기술연구원 수석연구원)	김 기 연 (한국산업기술시험원 선임연구원)
홍 보 이 사	최 현 택 (한국해양과학기술원 책임연구원)		
산학연이사	김 광 식 (㈜소올아이티 전무)	문 태 주 (㈜부일하우징 대표이사)	신 대 현 (㈜대연씨앤아이 대표이사)
	유 병 길 (현대선기㈜ 대표이사)		
회 원 이 사	권 오 민 (충북대학교 교수)	김 수 찬 (한경대학교 교수)	김 종 만 (전남도립대학교 교수)
	김 지 홍 (전주비전대학교 교수)	김 호 철 (을지대학교 교수)	남 기 창 (동국대학교 교수)
	류 지 형 (한국전자통신연구원 박사)	문 정 호 (강릉원주대학교 교수)	박 명 진 (경희대학교 교수)
	박 재 병 (전북대학교 교수)	변 영 재 (UNIST 교수)	서 영 석 (영남대학교 교수)
	송 철 규 (전북대학교 교수)	여 희 주 (대진대학교 교수)	유 재 현 (한경대학교 교수)
	이 상 준 (선문대학교 교수)	이 수 열 (경희대학교 교수)	이 용 귀 (한국전자통신연구원 선임연구원)
	이 태 희 (전북대학교 교수)	이 학 성 (세종대학교 교수)	정 재 훈 (동국대학교 교수)
	최 수 범 (KISTI 연구원)	최 우 영 (전북대학교 교수)	한 아 (한국산업기술시험원 선임연구원)
자 문 위 원	김 덕 원 (연세대학교 교수)	김 희 식 (서울시립대학교 교수)	박 종 국 (경희대학교 교수)
	서 일 홍 (한양대학교 교수)	오 상 록 (KIST 분원장)	오 승 록 (단국대학교 교수)
	오 창 현 (고려대학교 교수)	유 정 봉 (공주대학교 교수)	허 경 무 (단국대학교 교수)
연구회위원장	김 규 식 (서울시립대학교 교수) – 전력전자		한 수 희 (포항공과대학교 교수) – 제어계측
	남 기 창 (동국대학교 교수) – 의용전자 및 생체공학		정 재 훈 (동국대학교 교수) – 지능로봇
	이 성 준 (한양대학교 교수) – 회로 및 시스템		이 석 재 (대구보건대학교 교수) – 국방정보 및 제어
	연 규 봉 (한국자동차연구원 센터장) – 자동차전자		오 창 현 (고려대학교 교수) – 의료영상시스템
	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원) – 스마트팩토리		정 범 진 (서울과학기술대학교 교수) – 스마트미터링

산업전자소사이어티

회 장	김 은 원 (대림대학교 교수)		
명 예 회 장	강 창 수 (유한대학교 교수)	김 동 식 (인하공업전문대학 교수)	남 상 엽 (국제대학교 교수)
	원 영 진 (부천대학교 교수)	윤 기 방 (인천대학교 교수)	이 병 선 (김포대학교 교수)
	이 상 회 (동서울대학교 교수)	이 원 석 (동양미래대학교 교수)	
자 문 위 원	김 대 휘 (한국정보기술 대표이사)	김 용 민 (충청대학교 교수)	이 상 준 (수원과학대학교 교수)
	조 규 남 (로봇신문사 대표이사)	최 영 일 (조선이공대학교 교수)	한 성 준 (아이티센 고문)
수석부회장	고 정 환 (인하공업전문대학 교수)		
상 임 이 사	김 남 섭 (서일대학교 교수)	김 상 범 (한국폴리텍대학 교수)	김 영 로 (명지전문대학교 교수)
	김 영 선 (대림대학교 교수)	김 현 (부천대학교 교수)	서 병 석 (상지대학교 교수)
	서 춘 원 (K-My지능정보기술 대표이사)	엄 우 용 (인하공업전문대학 교수)	원 우 연 (한국폴리텍대학교 교수)
	윤 중 현 (조선이공대학교 교수)	이 시 현 (동서울대학교 교수)	조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
협동상임이사	강 현 석 (로보웰코리아 대표이사)	권 오 병 (㈜넷케이티아이 전무이사)	김 세 종 (㈜SJ정보통신 이사)
	김 윤 철 (㈜트라콤 상무이사)	김 정 석 (㈜오디에이테크놀로지 대표이사)	박 현 영 (㈜보고텍 대표이사)
	서 봉 상 (㈜올포랜드 이사)	서 승 현 (㈜글로벌텔레콤 대표이사)	성 재 용 (㈜오픈링크시스템 대표이사)
	송 관 식 (㈜아이티웨이 상무이사)	송 광 헌 (복두출판사 대표이사)	송 치 봉 (웨이버스 대표이사)
	유 성 철 (㈜클로센 상무이사)	이 영 준 (㈜투비콤 대표이사)	장 대 현 (㈜LGCNS 상무이사)
	전 한 수 (㈜세림TSG 전무이사)	조 병 영 (㈜태진인포텍 대표이사)	조 한 일 (㈜하이제이컨설팅 대표이사)
	최 석 우 (㈜한국정보기술 상무이사)	Gemma 김 (엠티데이타 이사)	
이 사	강 희 훈 (여주대학교 교수)	구 자 일 (인하공업전문대학 교수)	권 오 상 (경기과학기술대학교 교수)
	권 윤 중 (세명대학교 교수)	김 대 순 (전주비전대학교 교수)	김 덕 수 (동양미래대학교 교수)
	김 백 기 (강릉원주대학교 교수)	김 종 오 (동양미래대학교 교수)	김 태 원 (상지대학교 교수)
	김 필 중 (조선이공대학교 교수)	성 홍 석 (부천대학교 교수)	안 태 원 (동양미래대학교 교수)
	우 찬 일 (서일대학교 교수)	이 문 구 (김포대학교 교수)	이 성 재 (대림대학교 교수)
	이 용 구 (한림성심대학교 교수)	이 주 연 (전주비전대학교 교수)	장 기 동 (동양미래대학교 교수)
	정 성 순 (동양미래대학교 교수)		
협 동 이 사	변 용 필 (㈜넷케이티아이 전무이사)	고 강 일 (이지테크 대표이사)	곽 정 희 (㈜한국정보기술 부장)
	김 응 연 (㈜인터그래텍 대표이사)	김 철 룡 (㈜클로센 책임연구원)	신 동 희 (㈜대보정보통신 부장)
	신 우 현 (시티랩스 이사)	오 재 곤 (㈜한국정보기술 상무이사)	이 경 원 (㈜동해종합기술공사 상무이사)
	이 병 건 (㈜오픈링크시스템 이사)	이 성 대 (시티랩스 이사)	이 승 민 (㈜튜시스템 대표이사)
	이 승 태 (㈜하나텍시스템 이사)	이 용 우 (㈜쌍용정보통신 상무이사)	이 지 학 (㈜송암시스콤 대표이사)
	임 준 섭 (㈜대신정보통신 차장)	장 기 웅 (㈜나날에스엠아이 부장)	장 철 (㈜우송정보기술 대표이사)
	정 민 우 (㈜대보정보통신 상무이사)	한 찬 석 (㈜동해종합기술공사 부사장)	
감 사	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)	이 태 동 (국제대학교 교수)	

제24대 평의원 명단

강 명 곤 (한국교통대학교 교수)
강 석 주 (서강대학교 교수)
강 성 원 (한국전자통신연구원 소장)
고 병 철 (계명대학교 교수)
고 정 환 (인하공업전문대학 교수)
공 배 선 (성균관대학교 교수)
공 준 진 (삼성전자공과대학교 주임교수)
구 용 서 (단국대학교 교수)
권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원)
권 종 기 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
권 혁 인 (중앙대학교 교수)
김 광 순 (연세대학교 교수)
김 도 현 (국민대학교 명예교수)
김 동 순 (세종대학교 교수)
김 명 선 (한성대학교 교수)
김 병 서 (홍익대학교 교수)
김 상 태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)
김 성 대 (한국과학기술원 명예교수)
김 소 영 (성균관대학교 교수)
김 수 찬 (한경대학교 교수)
김 승 환 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김 영 로 (명지전문대학 교수)
김 영 재 (해동과학문화재단 이사장)
김 영 철 (군산대학교 교수)
김 용 신 (고려대학교 교수)
김 유 철 (LG AI연구원 부문장)
김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장)
김 재 희 (연세대학교 명예교수)
김 정 호 (이화여자대학교 교수)
김 주 성 (한밭대학교 교수)
김 지 훈 (이화여자대학교 교수)
김 진 태 (건국대학교 교수)
김 철 영 (충남대학교 교수)
김 태 진 (더즈텍 대표이사)
김 현 (부천대학교 교수)
김 형 진 (인하대학교 교수)
김 훈 (인천대학교 교수)
남 기 창 (동국대학교 교수)
노 원 우 (연세대학교 교수)
동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)
문 영 식 (한양대학교 교수)
민 동 보 (이화여자대학교 교수)
박 부 견 (포항공과대학교 교수)
박 성 정 (건국대학교 교수)
박 영 기 (싸인텔레콤 대표이사)
박 종 선 (고려대학교 교수)
박 항 구 (소암시스템 회장)
배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원)
백 종 덕 (연세대학교 교수)
변 대 석 (삼성전자 마스터)
서 승 우 (서울대학교 교수)
선 우 경 (서울대학교 교수)
성 원 진 (서강대학교 교수)
송 문 섭 (심텍 회장)
송 상 헌 (중앙대학교 교수)
송 철 (DGIST 교수)
신 요 안 (숭실대학교 교수)
심 용 (중앙대학교 교수)
안 승 권 (연암공과대학교 총장)
양 준 성 (연세대학교 교수)
연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장/수석연구원)
오 윤 호 (고려대학교 교수)
우 성 민 (한국기술교육대학교 교수)
원 제 형 (도쿄일렉트론코리아 대표이사)
유 정 봉 (공주대학교 교수)
강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
강 석 판 (LG전자 상무)
강 윤 희 (백석대학교 교수)
고 석 준 (제주대학교 교수)
고 진 환 (경상대학교 교수)
공 성 호 (경북대학교 교수)
구 민 석 (인천대학교 교수)
권 구 덕 (강원대학교 교수)
권 오 경 (한양대학교 석좌교수)
권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)
권 호 열 (정보통신정책연구원 원장)
김 규 식 (서울시립대학교 교수)
김 도 현 (제주대학교 교수)
김 동 식 (인하공업전문대학 교수)
김 명 준 (한국전자통신연구원 전, 원장)
김 봉 태 (한국전자통신연구원 소장)
김 선 용 (건국대학교 교수)
김 성 우 (서울대학교 교수)
김 수 연 (동국대학교 교수)
김 수 환 (서울대학교 교수)
김 시 호 (연세대학교 교수)
김 영 민 (홍익대학교 교수)
김 영 진 (한국항공대학교 교수)
김 영 한 (UC San Diego/가우스랩스 교수/대표이사)
김 원 종 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김 윤 (서울시립대학교 교수)
김 재 준 (서울대학교 교수)
김 정 범 (강원대학교 교수)
김 종 선 (홍익대학교 교수)
김 준 모 (한국과학기술원 교수)
김 진 상 (경희대학교 교수)
김 창 수 (고려대학교 교수)
김 철 우 (고려대학교 교수)
김 한 구 (삼성전자공과대학교 교수)
김 현 수 (삼성전자 상무)
김 형 탁 (홍익대학교 교수)
나 정 웅 (한국과학기술원 명예교수)
남 상 욱 (서울대학교 교수)
노 정 진 (한양대학교 교수)
류 수 정 (사피온코리아 대표이사)
문 용 (숭실대학교 교수)
박 관 서 (연세대학교 교수)
박 성 욱 (SK하이닉스 부회장)
박 성 한 (한양대학교 명예교수)
박 영 훈 (숙명여자대학교 교수)
박 종 일 (한양대학교 교수)
배 준 성 (강원대학교 교수)
백 광 현 (중앙대학교 교수)
백 준 기 (중앙대학교 교수)
변 영 재 (울산과학기술원 교수)
서 정 욱 ((전) 과학기술부 장관)
선 우 명 (아주대학교 교수)
손 교 민 (삼성전자 마스터)
송 민 규 (동국대학교 교수)
송 익 현 (한양대학교 교수)
신 세 운 (UNIST 교수)
신 현 철 (광운대학교 교수)
심 정 연 (강남대학교 교수)
안 현 식 (동명대학교 교수)
엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)
예 종 철 (한국과학기술원 교수)
오 의 열 (LG디스플레이 연구위원)
우 운 택 (한국과학기술원 교수)
유 동 훈 (디사일로 연구소장)
유 찬 세 (한국전자기술연구원 센터장)
강 민 석 (LG이노텍 부사장(CTO))
강 석 형 (포항공과대학교 교수)
강 진 구 (인하대학교 교수)
고 성 제 (고려대학교 교수)
고 형 호 (충남대학교 교수)
공 정 택 (성균관대학교 교수)
구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장)
권 기 룡 (부경대학교 교수)
권 오 규 (인하대학교 교수)
권 태 수 (서울과학기술대학교 교수)
김 경 기 (대구대학교 교수)
김 달 수 (티엘아이 대표이사)
김 동 규 (한양대학교 교수)
김 동 현 (ICTK 대표이사)
김 민 휘 (중앙대학교 교수)
김 부 균 (숭실대학교 교수)
김 선 욱 (고려대학교 교수)
김 성 철 (서울대학교 교수)
김 수 중 (경북대학교 명예교수)
김 승 천 (한성대학교 교수)
김 영 권 (후레대학교 명예총장)
김 영 선 (대림대학교 교수)
김 영 진 (한국생산기술연구원 수석연구원)
김 용 석 (성균관대학교 교수)
김 원 준 (건국대학교 교수)
김 은 원 (대림대학교 교수)
김 재 현 (아주대학교 교수)
김 정 석 (가천대학교 교수)
김 종 옥 (고려대학교 교수)
김 중 헌 (고려대학교 교수)
김 진 영 (광운대학교 교수)
김 창 익 (한국과학기술원 교수)
김 태 욱 (연세대학교 교수)
김 현 (서울과학기술대학교 교수)
김 형 준 (한국과학기술연구원 소장)
김 호 식 (SK하이닉스 담당)
남 궁 선 (유니트론텍 부회장)
남 일 구 (부산대학교 교수)
노 태 문 (한국전자통신연구원 센터장)
류 현 석 (서울대학교 교수)
민 경 식 (국민대학교 교수)
박 규 태 (연세대학교 명예교수)
박 성 욱 (강릉원주대학교 교수)
박 수 현 (국민대학교 교수)
박 인 규 (인하대학교 교수)
박 진 옥 (육군사관학교 명예교수)
배 준 호 (가천대학교 교수)
백 상 헌 (고려대학교 교수)
범 진 욱 (서강대학교 교수)
서 민 재 (가천대학교 교수)
서 창 호 (한국과학기술원 교수)
성 굉 모 (서울대학교 명예교수)
손 보 익 (LX세미콘 대표이사)
송 병 철 (인하대학교 교수)
송 준 영 (인천대학교 교수)
신 오 순 (숭실대학교 교수)
심 동 규 (광운대학교 교수)
안 상 철 (한국과학기술연구원 책임연구원)
안 호 균 (한국전자통신연구원 실장)
여 희 주 (대진대학교 교수)
오 상 록 (한국과학기술연구원 PM)
오 정 훈 (삼성전자 마스터)
우 정 호 (비젼넥스트 대표이사)
유 명 식 (숭실대학교 교수)
유 창 동 (한국과학기술원 교수)

유 창 식 (삼성전자 부사장)
윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
윤 성 로 (서울대학교 교수)
윤 종 윤 (파두 사장)
이 광 엽 (서경대학교 교수)
이 남 윤 (고려대학교 교수)
이 동 규 (카카오모빌리티 부사장)
이 상 만 (고려대학교 교수)
이 석 희 (솔리다임 의장)
이 승 아 (연세대학교 교수)
이 영 렬 (세종대학교 교수)
이 용 욱 (한화시스템 부사장)
이 재 관 (한국자동차연구원 소장)
이 재 홍 (서울대학교 명예교수)
이 정 원 (서울대학교 교수)
이 주 연 (전주비전대학교 교수)
이 채 은 (인하대학교 교수)
이 충 용 (연세대학교 교수)
이 태 원 (고려대학교 명예교수)
이 형 민 (고려대학교 교수)
인 치 호 (세명대학교 교수)
임 제 탁 (한양대학교 명예교수)
장 석 호 (건국대학교 교수)
장 익 준 (경희대학교 교수)
전 병 우 (성균관대학교 교수)
전 영 현 (삼성SDI 부회장)
정 교 일 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
정 민 채 (세종대학교 교수)
정 성 엽 (차세대융합기술연구원 실장)
정 완 영 (한국과학기술원 교수)
정 윤 호 (한국항공대학교 교수)
정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)
정 진 곤 (중앙대학교 교수)
조 남 익 (서울대학교 교수)
조 성 래 (중앙대학교 교수)
조 영 민 (SkyMirr CEO)
차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수)
채 주 형 (광운대학교 교수)
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
최 기 창 (서울대학교 교수)
최 성 민 (해치텍 대표이사)
최 승 종 (웰랑 대표이사)
최 우 영 (서울대학교 교수)
최 재 혁 (서울대학교 교수)
최 진 성 (도이치텔레콤 부사장)
최 현 택 (한국해양과학기술원 책임연구원)
하 태 준 (광운대학교 교수)
한 영 선 (부경대학교 교수)
한 정 환 (충남대학교 교수)
함 범 섭 (연세대학교 교수)
허 준 (고려대학교 교수)
홍 민 철 (숭실대학교 교수)
홍 인 기 (경희대학교 교수)
황 승 훈 (동국대학교 교수)
황 인 철 (강원대학교 교수)

유 호 영 (충남대학교 교수)
윤 석 진 (한국과학기술연구원 원장)
윤 영 권 (삼성전자 마스터)
이 강 윤 (성균관대학교 교수)
이 규 대 (공주대학교 교수)
이 덕 기 (연암공과대학교 교수)
이 문 기 (연세대학교 명예교수)
이 상 설 (한양대학교 명예교수)
이 성 준 (한양대학교 교수)
이 승 은 (서울과학기술대학교 교수)
이 영 택 (ASML 전무)
이 윤 식 (UNIST 교수)
이 재 성 (고려대학교 교수)
이 재 훈 (유정시스템 대표이사)
이 종 호 (서울대학교 교수)
이 진 구 (동국대학교 석좌교수)
이 천 희 ((전) 청주대학교 교수)
이 충 웅 (서울대학교 명예교수)
이 한 림 (중앙대학교 교수)
이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원)
임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)
장 성 준 (한국전자기술연구원 팀장)
전 국 진 (서울대학교 명예교수)
전 선 익 (파이낸셜뉴스 사장)
전 정 훈 (성균관대학교 교수)
정 길 도 (전북대학교 교수)
정 방 철 (충남대학교 교수)
정 승 원 (고려대학교 교수)
정 용 규 (을지대학교 교수)
정 은 성 (홍익대학교 교수)
정 정 화 (한양대학교 석좌교수)
정 해 준 (경희대학교 교수)
조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
조 성 재 (이화여자대학교 교수)
조 혜 정 (삼성물산 그룹장)
채 관 엽 (삼성전자 수석연구원)
채 찬 병 (연세대학교 교수)
최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)
최 병 수 (부경대학교 교수)
최 수 일 (전남대학교 교수)
최 영 규 (인하대학교 교수)
최 웅 (숙명여자대학교 교수)
최 중 호 (서울시립대학교 교수)
최 창 식 (DB하이텍 부회장)
추 민 성 (한양대학교 교수)
한 동 국 (국민대학교 교수)
한 은 혜 (에스에스앤씨 대표이사)
한 진 호 (한국전자통신연구원 책임연구원)
함 철 희 (삼성전자 마스터)
홍 국 태 (엘엑스세미콘 연구위원)
홍 승 홍 (인하대학교 명예교수)
홍 철 호 (중앙대학교 교수)
황 원 준 (아주대학교 교수)
황 인 태 (전남대학교 교수)

윤 명 국 (이화여자대학교 교수)
윤 석 현 (단국대학교 교수)
윤 종 용 (한국공학교육인증원 이사장)
이 경 중 (연세대학교 교수)
이 규 복 (한국전자기술연구원 부원장)
이 덕 진 (전북대학교 교수)
이 병 선 (김포대학교 교수)
이 상 훈 (웨이브피아 대표이사)
이 수 민 (한국센서연구소 대표이사)
이 승 호 (한밭대학교 교수)
이 왕 상 (경상국립대학교 교수)
이 인 규 (고려대학교 교수)
이 재 진 (숭실대학교 교수)
이 정 우 (중앙대학교 교수)
이 종 호 (서울대학교 교수)
이 창 한 (한국반도체산업협회 상근부회장)
이 철 (동국대학교 교수)
이 태 동 (국제대학교 교수)
이 혁 재 (서울대학교 교수)
이 희 덕 (충남대학교 교수)
임 승 찬 (한경국립대학교 교수)
장 길 진 (경북대학교 교수)
장 성 진 (삼성전자㈜ 자문위원)
전 동 석 (서울대학교 교수)
전 세 영 (서울대학교 교수)
전 홍 태 (중앙대학교 명예교수)
정 민 수 (라온텍 부사장)
정 범 진 (서울과학기술대학교 교수)
정 영 모 (한성대학교 교수)
정 원 영 (강운공업 본부장)
정 은 승 (삼성전자㈜ 고문)
정 준 (쏠리드 대표이사)
제 민 규 (한국과학기술원 교수)
조 문 규 (한국교통대학교 교수)
조 성 현 (한양대학교 교수)
진 훈 (경기대학교 교수)
채 영 철 (연세대학교 교수)
천 경 준 (씨젠 회장)
최 광 표 (삼성전자 마스터)
최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)
최 승 범 (삼성전자 부사장)
최 용 수 (신한대학교 교수)
최 인 수 (삼성전자 상무)
최 지 웅 (DGIST 교수)
최 천 원 (단국대학교 교수)
하 정 우 (네이버 AI연구소장)
한 동 석 (경북대학교 교수)
한 재 호 (고려대학교 교수)
한 태 희 (성균관대학교 교수)
허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원)
홍 대 식 (연세대학교 교수)
홍 유 식 (상지대학교 교수)
황 성 운 (가천대학교 교수)
황 인 정 (명지병원 수석연구원)
황 진 영 (한국항공대학교 교수)

사무국 직원 명단

송기원 국장 – 기획, 산학연, 신규 사업, 자문/서울IT포럼, 지부, 인사, 규정, 회장단 관련, 대외협력 및 업무총괄

이안순 부장 – 하계학술대회, 주요 운영회의(이사회, 평의원회 및 총회), 총무업무(선거, 공문수발, 임원관련, 송년회, 포상 및 Wiset 등), 산업전자소사이어티

배지영 부장 – 국제학술대회 총괄(ITC-CSCC, ICEIC, ICCE-Asia), 사업(기술워크샵 등), 추계학술대회, 컴퓨터소사이어티, 시스템 및 제어소사이어티

배기동 부장 – AI 관련, 국문지, 학회지, 표준화, 용역, 기타 지원업무, 인공지능 신호처리소사이어티

변은정 부장 – 본회/소사이어티/연구회 재무, 회원관리(개인회원 및 특별회원), 홍보, 통신소사이어티

김천일 부장 – 정보화 관련(웹사이트 관리 및 온라인/디지털 업무지원 등), 교육, 전산장비 관리, 반도체소사이어티

이소진 서기 – 국제학술대회 담당(ITC-CSCC, ICEIC, ICCE-Asia), 외국 기관과 국제협력(Joint Award 등), JSTS 및 SPC 발간

제5차 상임이사회 회의록

제 5차 상임이사회가 9월 15일(금) 17시 학회 회의실에서 개최되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

– 다 음 –

1. 회의 개최 성원

– 제5차 상임이사회는 40명의 상임이사 중 21명의 참여로 성원되었음.

2. 본 학회(각 위원회) 및 소사이어티 보고

– 본 회(각 위원회)/ 각 소사이어티별 사업 및 활동 계획 · 주요사항 보고

3. 심의사항 의결

– 신규 개인회원/ 특별회원 가입 승인에 대해 원안대로 승인함.

– 자문위원회 규칙 개정에 대해 회장단에 문구 수정 권한을 위임하여 문구 수정을 거친 후 승인하는 것으로 결정함 .

4. 기타

제33회 인공지능신호처리 학술대회

인공지능신호처리 소사이어티(운영위원장 고병철 교수)에서 개최하는 제44회 인공지능 신호처리 학술대회는 9월 21일 ~ 22일 양일간 게명대학교 성서캠퍼스에서 진행되었다. 본 학술대회는 2022년까지 4개 학회가 합동으로 주최하는 '신호처리합동학술대회'로 개최되다가 올해 2023년부터는 대한전자공학회의 인공지능신호처리 소사이어티가 단독으로 주관하는 '인공지능신호처리 학술대회'로 명칭을 변경하고 그 첫 학회를 대구 계명대에서 개최하였다.

본 학술대회에서는 기조강연, 신진연구자 강연, 특정 기술을 집중적으로 소개하는 튜토리얼 등 다양한 프로그램으로 진행되었고, 이번 학회에서는 융합산업, 공학, 과학 분야에서 핵심적으로 응용되고 있는 인공지능 기술을 포함한 신호처리 관련 일반논문 66편 외 신진연구자 강연 등을 포함 총 78편의 논문이 발표되었다. 그리고 과거의 학술대회 때와 마찬가지로 각 분야 별로 우수 논문을 엄선하여 우수논문상을 시상되었다. 참석은 130여명 이었다.

인공지능 신호처리 학술대회 발표모습

제33회 인공지능 신호처리 학술대회 운영위원 기념촬영

제23회 RF/아날로그 회로 워크샵

RF집적회로연구회(워크샵 운영위원장 : 제민규 교수(KAIST))에서는 "제23회 RF/아날로그 회로 워크샵"을 9월 21일(목)~23일(토) 라마다프라자 제주호텔에서 개최하였다.

지난 23년간 한국의 반도체 기술의 발전을 위해서 연구하는 산학연의 전문가들이 모여서 기술의 현황을 공유하고 미래에 갈 길을 같이 고민을 하는 장이 되어왔으며 올해도 최고의 전문가분들께 듣는 강연 및 회의장 안과 바깥에서의 심도 깊은 논의를 통해, 우리나라가 RF/아날로그 회로 설계에서 세계가 필요로 하는 기술을 발전시켜 나가는데 한 역할을 하도록 최대한 노력을 하였으며 시스템 반도체 설계 및 연구 역량을 강화 할 수 있는 프로그램을 제공하고, 국내 시스템 반도체 분야의 산학연에 종사하는 모든 구성원들의 성장에 기여하고자 시스템 반도체의 핵심 기술이 되는 RF/아날로그 회로의 최고 전문가들을 모시고 다채로운 주제로 발표가 진행되었으며, 약 220여명이 참여하였다.

워크샵 조직위회 및 VIP

인공지능 신호처리 학술대회 발표모습

인공지능 신호처리 학술대회 발표모습

2023 WISET 여대학원생 공학연구팀제 결과발표대회 개최

2023 WISET 여대학원생 공학연구팀제 지원사업 결과발표대회가 2023년 10월 6일(금) 한국과학기술회관 SC컨벤션센터 아나이스홀에서 한국여성과학기술인육성재단과 공동주관으로 개최되었다. 결과발표대회에는 연구책임자 등 총 100여명이 참석하였으며. 우수연구팀에는 인하대학교 전자공학과 팀이 선정되었다.

개회사 – 한재호 위원장

공학연구팀제 연구결과발표

결과발표대회 전체 기념촬영

신규회원 가입현황

기간 : 2023년 9월 1일 – 2023년 9월 30일

〈정회원〉

이주영(㈜넥스틴), 유선호(㈜파인브이티), 임성훈(대구경북과학기술원), 박동출(동양미래대학교), 허수현(선박해양플랜트연구소), 이대홍(주식회사 에이비스), 임형석(충남대학교), 박민철(한국전자기술연구원), 김지형, 김희권, 박찬우(한국전자통신연구원)

이상 11명

〈학생회원〉

김현우(가천대학교), 이동민(고려대학교), 권동욱, 윤성민(광운대학교), 정승훈(광주과학기술원), 박승기, 이규민(동국대학교), 권해리(서강대학교), 정성호(서울대학교), 강민준, 권경범, 김승민, 윤준영, 한재웅(아주대학교), 김나현, 박윤아, 박주은, 이건행(영남대학교), 황정곤(충남대학교), 김민범, 이우석(한국기술교육대학교)

이상 21명

학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND INFORMATION
ENGINEERS

(2023년 9월 16일 ~ 10월 15일)

1. 회의 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
제 1차 후보추천위원 회의	9.14 17:00	학회 회의실	– 후보 추천에 관한 사항 등
제 2차 선거관리위원 회의	9.18 17:00	학회 회의실	– 2024년도 임원 선출 준비 논의 등
제 1차 포상위원 회의	9.21 17:30	학회 회의실	– 학회상 및 해동상 수상후보자 심의

2. 행사 개최

구분	행사명	기간	장소
인공지능 신호처리 소사이어티	제33회 인공지능 신호처리 학술대회	9.21–22	계명대학교 성서캠퍼스
RF집적회로연구회	제23회 RF/아날로그 회로 워크샵	9.21–23	라마다프라자 제주호텔 8층
사업위원회	AI 메디칼 워크숍	9.12	과학기술회관 중회의실 2

특 · 집 · 편 · 집 · 기

최신 반도체 메모리 기술 동향

조 성 재 편집위원
(이화여자대학교)

우리나라는 DRAM과 flash 메모리 분야에서 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있는 메모리 기술의 종주국이다. 특히, 1992년 세계 시장 1위를 차지한 이래 그 자리를 지켜온 DRAM은 지금의 우리나라가 있게 해준 핵심 산업 기술이며 우리나라의 상징이라 해도 결코 과언이 아니다. 근래 반도체 선진국의 위상을 유지하기 위해서는 반도체 메모리와 비메모리 영역 모두에서 세계적 수준의 경쟁력을 확보하지 않으면 안 되는 매우 경쟁적인 상황이 전개되고 있다. 이러한 상황에서 반도체 메모리 기술의 과거와 현재를 살펴보고, 미래를 조망해보는 일은 큰 의미가 있다 하겠다. 본 특집기에서는 각 메모리 기술 영역에서 매우 활발한 연구 개발을 수행하고 있는 국내 학계 연구자들의 이야기를 듣는다. 기술적 내용 측면에서 매우 풍부하여 반도체 메모리에 관심이 있는 학부생과 대학원생들에게는 좋은 학습 자료가 되는 한편, 근래 새로운 구조 및 소재 기반의 메모리 어레이와의 집적회로를 구현하기 위해 소자 레벨의 메모리를 이해하고자 하는 회로 및 시스템 연구자들에게도 매우 좋은 자료가 될 것으로 사료된다.

"DRAM 기술의 현재와 미래(전북대학교 허근)"에서는 DRAM 기술의 역사, 소재 및 셀 기술, 코어 및 주변 회로 기술 전반을 살펴본다. 1T DRAM, FeDRAM, VLT DRAM, CNT DRAM 등 차세대 DRAM과 HBM 패키징에 이르는 다양한 내용들이 차근히 전개된다. "Flash 메모리 기술의 현황과 미래(서울과학기술대학교 심원보)"에서는 플래시 메모리 기술의 역사, 구조와 동작 원리, 최신 기술, 초고집적 적층을 위한 공정 및 어레이 기법, 새로운 응용 등을 폭넓게 다루어 가히 플래시 메모리의 재발견이라 할 수 있는 내용들을 담고 있다. "RRAM 소자 공정 기술의 과거와 최근 연구 동향(동국대학교 김성준)"에서는 RRAM 기술의 역사와 최신 RRAM 기술, 고집적 어레이 구현을 위한 전략을 차세대 RRAM 기술의 방향을 조망해 보았다. "상변화 메모리 연구 개발 동향(홍익대학교 권용우)"에서는 상변화 메모리의 역사, 물질과 거동 변화 메커니즘을 살펴보고, 셀렉터 온리 메모리(SOM), 자가 선택 메모리(SSM) 등의 최신 PRAM 디술들을 소개하면서 고신뢰성 메모리로서의 PRAM의 의미와 가치를 조명하였다. "FeRAM의 발전과 응용(한양대학교 권대웅)"에서는 속도와 저전력 동작 측면 모두에서 큰 주목을 받고 있는 FeRAM의 물질, 구조와 동작 원리를 설명하고, 기술적 난제와 해결 방안, 1T-nC 구현을 위한 차세대 FeRAM 기술을 흥미롭게 서술하고 있다.

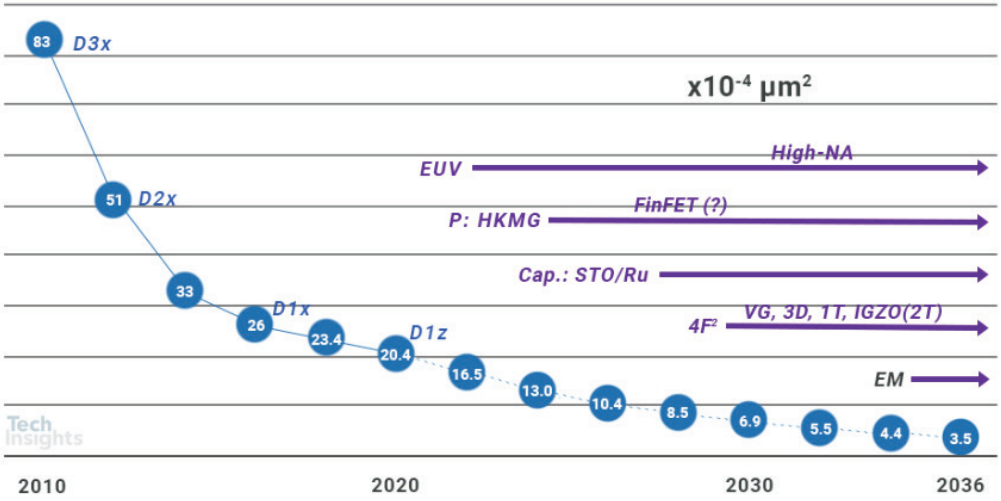
최근 정보 저장 기능뿐만 아니라 이미 상당 수준의 연산 기능을 수행하기 시작한 메모리 기술의 전개는 메모리 반도체 기술만큼 비메모리 반도체 기술의 수준을 상향 조정해야 하는 우리에게 시사하는 바가 크다. 본 특집기가 독자분들에게 메모리 기술들이 갖추어야 하는 본연의 요건들과 현재의 동향을 살펴보면서 우리나라 반도체 메모리 기술이 나아가야 할 길을 조망해볼 수 있는 기회가 되었으면 하는 바람이다. 분주한 일정 속에서도 귀중한 원고를 집필해주신 저자분들과 교정과 편집으로 좋은 글을 내주신 대한전자공학회에 깊은 감사의 마음을 전합니다.

DRAM 기술의 현재와 미래

Intro

가장 널리 활용되는 메인메모리인 Dynamic Random Access Memory (DRAM)은 1966년 Robert. H. Dennard 박사에 의해 처음 그 컨셉이 발표된 처음 이후, 1973년 구현된 1T1C구조 DRAM Chip의 성능대비 1 order 이상의 동작전압을 스케일링하였고, 동작속도 (R/W latency) 및 retention (refresh 주기)는 2~30배 가량 향상되었으며 현재 널리 상용화된 1x tech DDR4 (8Gb)의 경우에는 신문지 64000 페이지 분량의 정보를 기록할 수 있는 용량으로 발전하였다. 그리고 Chat GPT 로 대표되는 빅데이터 / A.I 시대를 맞아 고성능 DRAM의 수요가 증가하며 더욱 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 트랜지스터가 주된 구성요소인 다른 로직/메모리 소자들과는 달리 DRAM은 기본적으로 능동소자인 트랜지스터와 수동소자인 커패시터를 동시에 집적하며 6~700여 step에 달하는 최적화된 공정스텝을 거쳐야 하기 때문에 소재 / 소자 / 공정기술의 척도를 가늠할 수 있는 주요 기술 지표로써의 역할도 하고 있다. 차세대 메모리는 고속의 buffer memory 와 고용량의 storage memory가 갖는 장점을 융합한 형태로 발전하는 것이 타당하나, 현재까지 Volatile memory인 DRAM을 완벽히 대체할 만한 buffer memory는 존재하지 않는다. 물론 빠른 속도로 발전을 거듭하는 반도체 기술의 총아인 DRAM의 미래를 정확하게 예견하기란 쉽지 않을 것이다. 하지만 정보의 량이 폭증하고 있는 IoT시대에 극한의 에너지 효율성을 추구하는 컴퓨팅 시스템의 발전방향과 이에 필수적인 메인 메모리로써의 DRAM과의 밀접한 상관관계를 이해한다면 의미 있는 예측이 가능할 것이다. 본 고에서는 DRAM의 기본 구조 및 동작원리를 살펴보고 이에 기반한 기술적 이슈들과 다양한 차세대 DRAM 후보군들에 대하여 고찰한 후, 향후 발전 및 시장 전망을 논하여 보기로 한다.

허 근
전북대학교



DRAM Cell Size Trend and Technology Prediction [techinsights]

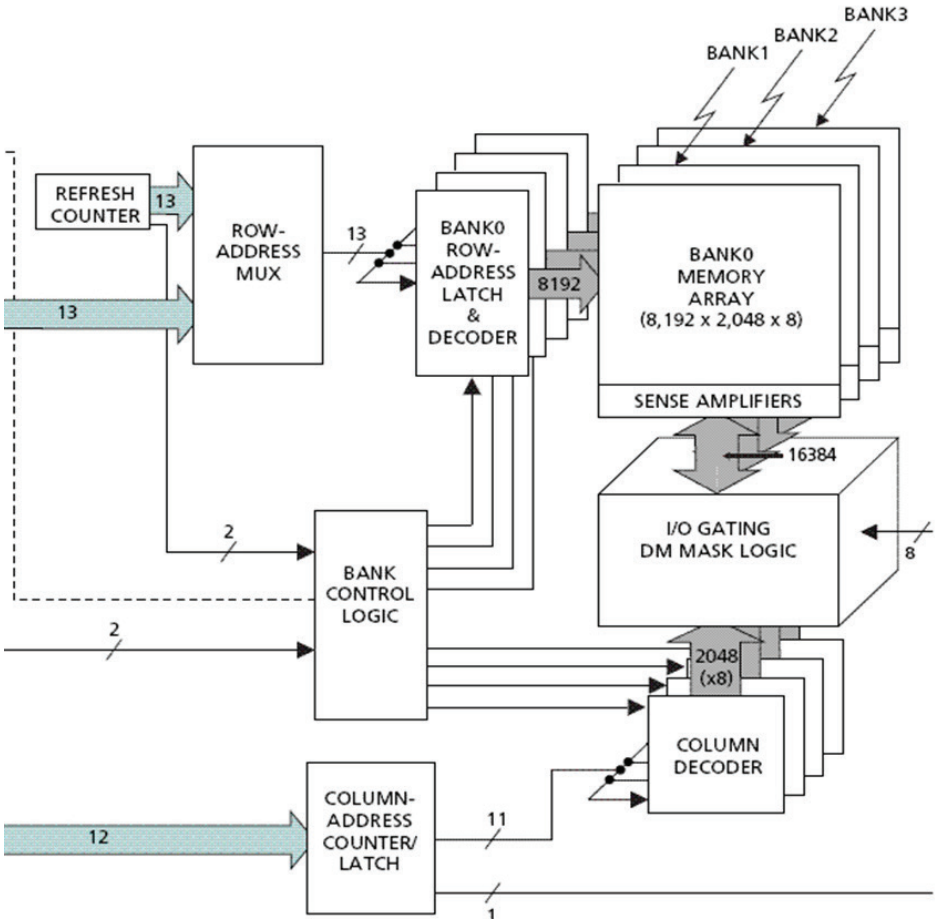
1. Scaling in DRAM

디바이스 스케일링은 로직과 메모리를 막론하고 고성능과 고용량을 구현하기 위한 중요한 키워드이다. 2012년부터 20nm급 DRAM이 선보이기 시작하였으며, 소재/소자/공정에서의 난이도는 갈수록 높아지고 있다. 기본적으로 DRAM의 스케일링은 고집적을 추구하면서 동작마진을 확보하는 것이 중요하다. Wafer당 net die (# of total die/wafer)를 증가시키면 확보할 수 있는 chip의 개수를 크게 늘릴 수 있다. 실제로 수율이 동일하다 가정할 때, 4G 기준으로 2z nm tech node를 적용할 시 3z nm tech node 대비 한 장의 wafer에서 확보할 수 있는 chip의 개수는 3배가량 많다. 성능적인 측면에서도 스케일링 이론에 기반하여 단일소자측면에서의 저전력 소비 특성을 도모할 수 있다. 물론 소자 자체의 스케일링과 더불어 interconnection 스케일링도 도모함으로써 이상적으로는 high speed를 구현할 수 있으나 소형화로 인한 cell간의 전기적 특성의 불균일성(CCV)나 인접한 W/L의 효과(NGPG)와 같은 부정적인 요인들이 발생할 가능성을 염두에 두어야 한다. 40nm tech node 부터 적용된 매립형 워드라인 구조인 Buried gate(BG) 셀 트랜지스터는 워드라인과 비트라인간의 이격을 통하여 셀 커패시턴스(Cs)를 줄이고 충분한 유효채널길이를 확보하여 궁극적으로는 동작마진을 충분히 가져가면서 현재 1a tech node까지 지속적인 스케일링이 가능한 혁신적인 구조로 평가받고 있다. 하지만 이 구조 역시 Word Line (W/L) 저항 증가와 워드라인을 형성하는 후보물질들의 검증, 비트라인 컨택 저항증가 및 셀커패시턴스의 확보난이도, 미세패터닝을 위한 EUV의 활용 및 Cost-effective 프로세스등의 공정관련 이슈들로 인하여 난관에 봉착한 상태이다. 광대역 bandwidth 메모리에 대한 수요를 충족시키기 위해서도 최신 (LP)DDR5, GDDR6 이후의 성능 혁신을 이룩하려면 지속적인 스케일링이 반드시 필요한 상황이다.

하기 그림은 DRAM의 전체 블락 다이어그램이다. 이 구조를 간략히 살펴보면, cell들이 모여 있는 bank, 그리고 이 bank를 컨트롤하기 위한 Row address latch/decoder 등의 row path 영역과 선택된 row 영역(X-direction)에서 r/w 등의 동작을 수행하는 column(Y-direction) path영역, 그리고 데이터 I/O등의 역할을 수행하는 data path 영역으로 구분되어진다. 또한 동작모드를 선택하는 mode 레지스터와 어드레스를 받아들이는 address counter /latch 가 있다.

2. DRAM 아키텍쳐

우선 DRAM의 기능을 영역별로 해석하기 위해 Core 구조에 대하여 간략히 살펴보면 1T1C cell array 들이 2



Internal DDR SDRAM memory chip block diagram [*www.eecg.utoronto.ca*]

차원으로 배열되어 있는 Matrix (Mat)라고 불리우는 영역과, 이를 제어하기 위한 Bit Line Sense Amp (BLSA), Swb-Word line Driver (SWD), Sub-Hole (SH) 과 같은 영역을 총칭하여 Core 라고 명명하며, 이 core들과 더불어 X-Y Decoder / Hole 을 규칙적으로 배열한 것이 bank이다. 다시 말해 Bank는 core array 들과 이를 제어하기 위한 독립적 제어장치들을 말하며, 이 영역을 제외하고 다른 I/O 입출력, Command/Address 제어기능을 담당하는 영역을 구동회로(Peripheral circuit), 줄여서 peri라고 명명한다.

Cell array를 가장 효율적으로 집적하는 것이 주된 목적인 Bank 설계는 스케일링과 밀접하게 연관되어 있다. DRAM의 동작시 효율성을 위해서는 클락속도의 증가와 함께 이를 따라갈 수 있는 메모리 요청처리 시간을 줄이는 것이 필수적이며 이를 구현하기 위한 뱅크설계도 필수적이다. 효율적인 Bank의 설계는 현재 스케일링의 극한을 추구하는 시점에서 매우 중요하며, 몇 가지 종류가 존재한다. 첫째 가장 일반적인 스택구조는 현재 DRAM에 널리 활용되고 있는 구조로써 집적도를 가늠하는 chip size와 cost(net-die)측면에서 장점을 지닌다. Interconnection측면에서도 global line의 길이 및 power line 설계 측면에서 이점이 존재하지만 Y-축 dimension의 증가로 인한 signal delay 문제나 peri 배치 측면에서 불리한 부분이 있다. Pad나 e-Fuse 등의 peri회로 집적시 제한되는 스택 구조의 문제를 해결하기 위한 분산형 뱅크구조가 있다. 이는 X-Y 중 긴 쪽으로 BANK의 배치를 분산하는 구조로써, 인접한 뱅크간의 noise 커플링을 저감시키고 공간활용도의 측면에서 이점이 있으나 cost 와 집적도 측면에서는 당연히 애로사항이 존재하며, interconnection 길이의 증가로 인한 동작속

Category			Function	Location
Bank	Core	MAT array	Access TR / Cell Cap.	Core array 인접 영역
		BLSA array	B/L Sense Amplifier array	Cell array 인접 영역
		SWD array	Sub W/L Driver array	"
		Sub-hole (SH)	BLSA / SWD driver, IO switch	Cell array 인접 영역 BLSA와 WLD array 교차점
	X-decoder		W/L Decoder	W/L방향 cell array 인접 영역
	X-Hole		Main W/L Decoder / BLSA control Row (Active, Precharge, Refresh) control	Bank와 Bank 사이 1 Bank의 center, X-dec 인접 영역
	Y-decoder		Y-select decoder	BLSA Block 내부
	Y-Hole		BLSA Local I/O Write Driver,	Y-select decoder하단
Peripheral circuit			Function control	Bank 경계. Core array 인접 영역

DRAM Core 및 peri part의 기능 및 구성

도 측면에서의 열화도 이슈가 될 수 있다. 이외에 집적도를 늘리기 위하여 특정한 테크노드에서 변형된 bank 배치구조로써 대칭적인 구조의 우물정자(井) 구조나 바람개비형 구조도 적용된 바 있으나 일반적으로 뱅크의 수를 늘리면 뱅크간 공유되는 Bus들과 Cell array 상의 bias 및 동작전류의 제한으로 인하여 지연시간이 늘어날 수 있는 여지가 있다. 때문에 뱅크 수 증가를 통한 집적도와 동작속도 측면에서의 장점을 동시에 얻기 위해서는 지연시간을 줄이는 것이 필수적이며, DRAM 클락 주파수가 고정된 상태에서 뱅크의 증가는 데이터 버스의 포화상태를 고려하여 설계하여야 한다. 정리하자면 Core 설계에서는 하나의 die내에 더 많은 cell을 집적하고, 웨이퍼 내에 더 많은 die를 집적하는 것이 중요하나, 동작속도와 배선설계에서의 효율성을 고려하여 워킹메모리로서의 동작속도 및 전력소모의 향상도 함께 추구하여야 할 것이다.

3. Cell 커패시터

S/A 동작을 위한 센싱마진을 확보하기 위하여 충분한 Cs값을 유지하는 것은 셀 커패시터로서 반드시 필요한 성능이며, 리프레쉬 주기동안 전하를 유지할 수 있는 우수한 누설전류 특성 또한 중요하다. 하지만 유전막의 두께를 스케일링하는 것만으로는 이러한 요구사항을 충족시키기 어려워졌으며, 이에 지르코늄 옥사이드나 하프늄 계열의 high-k 물질을 적극 활용하고 있다. 현재는 수직형 pillar type 구조를 고수하고 있으나 스케일링이 지속될수록 높은 A/R 과 Cap간의 누설전류 문제가 불거지고 있으며, 차세대 DRAM 의 후보군인 3D DRAM 셀의 경우 초고유전막을 활용한 평면형 커패시터 형태가 채용될 가능성도 있다. 차후 어떠한 형태의 Cap이 장착되더라도 1T1C의 기본 컨셉은 당분간 유지되리라 보여진다. 소재 측면에서 현재 DRAM의 커패시터는 ZAZ (ZrO_2(Top)/Al_2O_3/ZrO_2(bottom)) 구조를 사용하여 누설전류의 개선과 정전용량을 동시에 확보 가능한 구조를 쓰고있지만, 점점 얇아지는 ZrO_2 층의 두께로는 결정화를 통한 유전상수의 증가가 어려워져 유전상수가 ~ 25 에 불과하게 되었다. 이에 유전막을 super high-k 유전체층으로 변경하며, TiN 전극도 일함수가 큰 Ru 계열의 물질 (~5.0eV) 으로 변경하는 연구도 진행중이다. 국내 연관기업체에서는 Ru를 전극으로 사용하고 도핑 프로세스를 진행한 TiO_2 유전막을 도입함으로써 dopant의 농도에 따라 높은 유전상수와 낮은 누설전류를 모두 확보하여 개선시키는 연구결과를 발표한 바가 있으며, 누설전류를 줄이기 위한 또다른 방법으로 HfO_2/TiO_2 이중막을 이용

하는 등 다양한 연구가 진행되어왔다. 또한 RuO_2 전극에 $SrRuO_3$를 seed layer로 사용하는 유무의 경우를 비교하여, $SrRuO_3$ seed layer 를 사용한 경우 유전상수가 약 2배정도 크다는 결과도 확인한 바가 있다.

4. 구동회로 (Peripheral Circuit)

DRAM의 Peri 회로는 센서 증폭기와 디코더로 구성되어 있으며 드라이버, 증폭 장치, 센싱 등 각종 신호장치로 cell을 원활하게 동작하도록 도와준다. 이러한 중요한 역할을 수행함에도 불구하고, 트랜지스터가 동작속도의 주를 담당하는 Logic 칩과 달리 DRAM의 경우에는 수동소자인 커패시터와 기생성분들이 동작속도의 제한요소이기 때문에 Peri 영역에서의 속도 개선이 크게 중요하지 않았다. 하지만 지속적인 스케일링으로 DRAM의 cell의 성능이 향상되면서 구동회로인 peri 파트도 함께 성능을 높이기 위해 연구되고 있다. Peri회로의 트랜지스터는 기본적으로 열적 안정성이 우수한 물질로 구성되어 있다. 게이트 옥사이드와 게이트는 실리콘 옥사이드와 폴리 실리콘으로, 소스와 드레인의 저항을 줄여주는 실리사이드는 고온에서 쉽게 물성이 쉽게 변하지 않는 $CoSi_2$로 형성되어 있다. 하지만 Si 표면 상태에 매우 민감한 고유 특성으로 인하여 다른 Logic에서 쓰고 있는 Ni을 이용한 silicide에 비하면 전기적 성능이 떨어진다. 하지만 DRAM의 Peri 회로의 트랜지스터에 활용되는 물질과 기술은 커패시터 공정과정에서 장시간 고온에 노출되기 때문에 Thermal Budget 측면에서 제한될 수밖에 없었다. 또한 Peri 회로는 NMOS와 PMOS간의 소자의 대칭성이 필요한데 PMOS의 경우 NMOS에 비해 속도가 느려 성능의 한계가 있다. 그러나 3D 적층기술의 발전과 신물질의 지속적인 도입, 인공지능분야에서 DRAM의 중요성에 의해 부각됨에 따라 고성능 Peri 회로에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

4-1) HKMG for DRAM Periphery

High-k, metal gate의 DRAM 적용은 Peripheral circuit에서 활발하게 이루어지고 있다. 삼성전자는 32nm/28nm Gate-First HKMG Schemed AP 경험을 바탕으로 DRAM Periphery 적용을 목표로 한 HKMG 개발을 2016년부터 재개하였고, 그 결과 2021년 HKMG 기술이 적용된 DDR5 512GB DDR5 메모리 모듈을 개발하였다. DDR5는 기존의 DDR4 대비 2배 이상의 성능이며, 향후 데이터 전송속도의 확장성이 보장된다. 1년 뒤 삼성과 SK하이닉스는 JEDEC 기준 초전압 범위인 1.01~1.12V에서 작동하며, 소모전력은 이전 제품보다 25% 감소시킨 LPDDR5X를 선보인다. 이는 LPDDR5의 최고 속도인 6.4Gbps에 비해 1.3배 빠른 8.5Gbps를 구현하였다. DRAM BLSA latch TR의 Gate Stack 물질을 HKMG로 변경하면 EOT 스케일링을 통한 Drive Current Boosting과 Ring Oscillator Delay 특성을 크게 개선할 수 있다. 그러나 Periphery 트랜지스터 형성 후 high-thermal을 거치며 안정적인 문턱전압의 형성과 High-k Dielectric 물질 자체의 신뢰성 확보는 중요한 과제이다.

4-2) 3D FinFET for DRAM Periphery

더욱 혁신을 이룩하고자 한다면 현재 개발이 진행중인 Gate-Last방식의 RMG (Replacement Metal Gate)구조를 거쳐 DRAM Periphery 3D FinFET 가능성에 대한 적극적 검토가 필요하다. 일반적으로 메모리에 적용되는 기술이 Logic 대비 10여년 정도의 격차가 있는 것은 감안한다면 현 시점에서 Fin의 도입을 고려하는 것은 절대 빠른 것이 아니라 판단된다. DRAM Periphery BLSA latch TR 구조를 3차원 FinFET 구조로 변경하는 Scheme은 Fin Height와 Doping 최적화를 통한 Wide Effecitve Transistor Width 효과를 통하여 V_{th} mismatch 특성을 향상시킬 수 있으리라 예상한다. 또한 2D Planar TR 대비 큰 area gain 또한 기대할 수 있을 것이다. Intel 이 22nm 노드부터 도입한 3D FinFET 구조는 gate controllability를 극대화할 수 있는 구조이다. 이는 당연히 V_{th} 변동성 및 S.S 특성을 크게 개선하였으며, 기존의 2D Planar TR 은 스케일링 시 V_{th} shift가 증가하였지만 3D FinFET 트렌지스터가 적용된 22nm 노드에서는 V_{th} shift 가 처음으로 감소되었다. 그리고 후

속 14nm 노드는 Fin Profile 과 doping 제어 등을 통한 설계 및 공정최적화 과정을 통하여 V_{th} shift 를 절반 수준까지 개선할 수 있었다. 이 구조는 수직 방향의 물고기 지느러미같은 Fin의 양측면이 트랜지스터의 width에 해당하며, Drive Current의 증가와 동시에 effective width 효과로 V_{th} 변동을 감소시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과 DRAM Periphery BLSA 래치 트렌지스터에 3D FinFET 구조를 적용할 경우 동일 Vth shift 조건에서 2D Planar TR 대비 약 50% Area Gain을 얻을 수 있었다. 1x tech 이상으로 스케일링이 진행된 현재 DRAM에서 FinFET 구조로 ISO Periphery를 만든다고 할 경우 첫째, 현재의 ISO Mask에서 Periphery 영역의 Layout을 Fin 모양으로 변경하고 이후 현재의 Process를 진행하는 방법이 있다. 둘째, Fin 기반의 ISO Periphery Layout이 구현된 Mask를 도입하는 방법이 있다. 물론 Mask 추가에 따른 비용과 공정이 추가되지만 안정적인 Periphery Patterning을 기대할 수 있다. 마지막으로 IPT Mask의 Periphery영역을 Cell과 동일하게 Design하고 Cut Mask로 Fin 모양의 Pattern을 구현할 수도 있다. 주지하는 바와 같이 DRAM Periphery 란 Cell을 구동하기 위해 존재하는, Cell을 제외한 모든 주변부 회로를 일컫는다. 일반적으로 Cell 과 Peri가 함께 있는 Layer의 경우는 양자를 동시에 Patterning 하는 것이 일반적이다. 즉, DRAM ISO Layer의 경우 IPT – Cell Open – ICT – ISO의 순서로 Mask를 적용하여 최종적으로는 ISO Cell 과 Periphery를 한번에 Patterning 하는 방식이 일반적이다. FinFET에서 Transistor의 Effective Channel Width는 Fin Width, Height에 따라 결정된다. 따라서 소자특성 및 공정 마진 등을 고려하여 Fin Width와 Height를 어떻게 결정할지를 결정해야 한다. DRAM에서 FinFET 구조로 ISO Periphery Integration을 하고자 할 때, 역시 가장 큰 난관은 Sense Amplifier영역을 다시 최적화해야 한다는 것이다. 현재 DRAM S/A 영역은 bank의 경계 및 코어어레이 부근에서 매우 미세한 면적에 구현되어야 하기 때문에 수많은 노하우와 기술격차를 만들어낼 수 있는 핵심 분야였다. 당연히 무수한 요소 기술이 축적되어 최적화되어 왔다. 그러나 Fin 구조가 도입되면 기존의 요소기술들의 역할이 줄어들게 되고, 경쟁국가와의 경쟁에서 이를 극복해야 하는 어려움이 존재할 수 있다.

5. Cap-less 1T DRAM

주지하는 바와 같이 DRAM은 집적도를 향상시키기 위하여 지속적인 스케일링이 진행되고 있으며, 볼륨의 저하로 인하여 열화된 W/L conti는 셀 트랜지스터 동작 특성 저하의 주된 이슈가 되고 있다. 하지만 DRAM 스케일링에 있어서 가장 큰 도전과제는 트랜지스터 스케일링의 법칙을 따르지 않는 수동소자인 캐패시터의 스케일링이라 할 수 있을 것이다.1z tech node 기준 최소 5.0 fF 이상의 C_s 가 요구되고 있으며 높아질만큼 높아진 A/R와 leaning, 신물질의 도입을 통한 박막공정의 난이도 및 cost 증가와 같은 수많은 잠재적 이슈가 존재한다. 이에 대한 대안으로 근본적으로 캐패시터를 제거하고 1개의 트랜지스터 만으로 DRAM의 역할을 수행하는 Capacitor-less 1T DRAM에 대한 관심과 연구가 매우 활발하게 이루어지고 있다. 1T DRAM은 단일 트랜지스터만으로 unit cell을 구성하기 때문에 소자에 따라 차이는 있겠으나 집적도는 물론이고 동작속도 및 전력소모의 측면에서도 장점을 가진다. 무엇보다 현재 전체 DRAM 공정의 대략 40%가 커패시터 관련 공정인 점을 감안하면 공단화 측면에서 매우 큰 이점을 지니고 있는 것은 분명한 사실이다. 하지만 아직까지 기존의 1T1C 소자가 JEDEC 기준을 충족하며 오랜 기간동안 최적화된 완성도 높은 공정조건을 갖추고 지속적인 스케일링으로 충분한 성능을 발휘하고 있는 것을 감안하면 굳이 커패시터를 삭제하는 모함을 감행할 필요성에 대한 회의적인 시각이 있는 것도 사실이다. 오히려 $4F^2$ 구조의 개발에 주력하거나 배선설계 최적화를 통하여 높은 C_s/C_b를 추구하는 것이 현실적이라는 의견이 많다. 현 시점에서 어느 쪽의 의견이 정답인가에 대해서 결론을 내릴 수는 없으나 저전력/고속 스위칭 소자의 필요성이 증가하는 시점에서 1T Memory는 확실한 돌파구를 만들어낼 수 있는 가능성이 있음은 부정할 수 없는 사실이다. On/Off의 상태

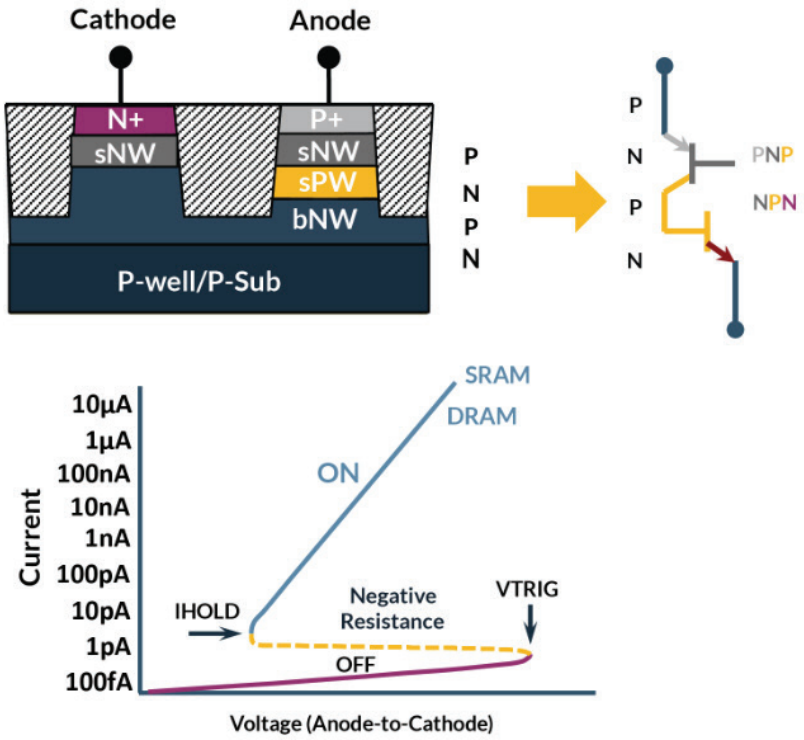
(T-RAM, VLTRAM, SBRAM, CNT(N)RAM, Z2FET), 강자성체의 분극상태(FeDRAM), 전하를 구조적으로 Trap 하여 정보를 저장(TFET 기반 DRAM, Z-RAM)하는 등의 다양한 원리에 기반한 1T 소자들이 지속적으로 연구가 진행 중이며, 관심을 갖고 지켜볼 필요가 있다.

5-1) FeDRAM

1920년대 초반 발견된 강유전(Ferroelectric) 물질은 분극(Polarization)이라는 고유의 특성을 지니고 있으며 두 가지 분극 상태를 각각 1, 0으로 저장하는 방식으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 2000년대 초반 주목을 받았던 Perovoskite 기반 비휘발성 메모리 연구는 Si 기반 CMOS 공정적용 어려움과 함께 강유전성을 얻기 위한 필연적인 두께 한계를 극복하지 못했다. 이를 극복한 것이 Hf 기반의 강유전체이고, 이 물질은 우수한 두께 scalability와 높은 신뢰성을 기반으로 현재 High-k 분야에도 넓은 확장성을 보이고 있다. 기본적으로 FeRAM의 Memory Window와 동작전압은 강유전층의 Coercive field 의하여 결정된다. 여기서 분극을 반전시키는 전압을 스위칭 전압이라 하는데 분극의 크기에 비례하는 특성이 있으며, 이러한 Switching dynamics를 제어함으로서 원하는 메모리 특성을 달성할 수 있다.

5-2) VLT DRAM

VLT DRAM 은 기본적으로 사이리스터(Thrystor)라는 정션구조의 2Terminal 소자로 이루어진 T-RAM에 기반하고 있다. T-RAM은 사이리스터의 On/Off 상태를 각각의 독립된 정보로 인식하여 bit를 저장한다. 사이리스터란 BJT 2개가 겹쳐진 구조인 P-N-P-N 접합의 4층 구조를 갖는 반도체 소자의 총칭이지만 일반적으로 정류기의 일종으로 SCR(Silicon-Controlled Rectifier Thyristor)이라고 불린다. SCR은 P-N-P 타입과 N-P-N 타입 2개의 BJT(Bipolar Junction Transistor)가 합쳐져 전류를 점멸시키는 소자이다. 주전극은 캐소드와 애노드이며 일반적으로 애노드부터 P-N-P-N순으로 접합되어 있고 그 사이사이에 모두 3개의 P-N 접합면이 존재한다. 3T-사이리스터는 일반적으로 가운데 P-Base 영역에 게이트가 형성되어 있고, 이 게이트를 통



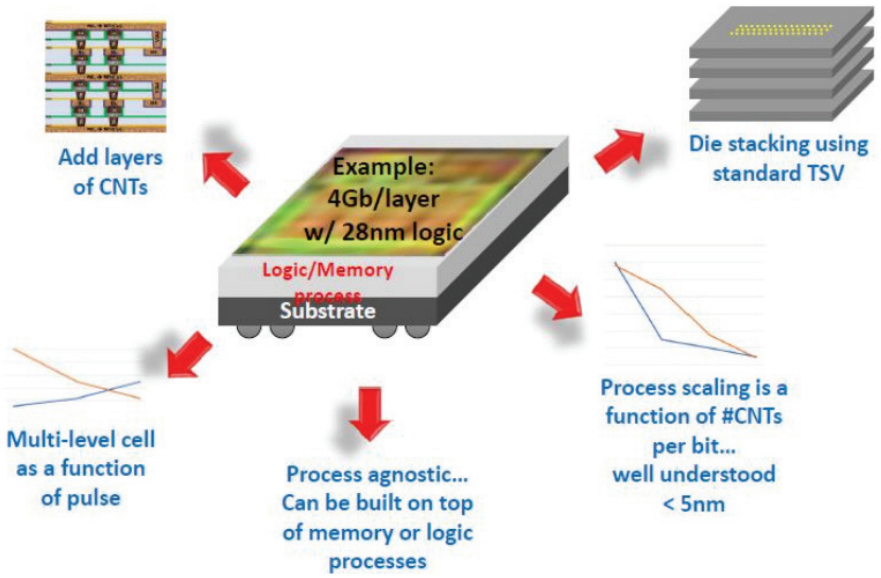
Vertically Layering Thyristor Technology [Kilopass Technology]

한 바이어스는 P-N 접합의 전위장벽을 줄이고 트리거링(Triggering) 전압을 낮추어 사이리스터 소자를 도통(On) 상태로 전환시키는 역할을 수행한다.

SRAM에서 시작한 사이리스터 기반 메모리는 빠른 On/Off 특성 때문에 Cap-less DRAM 응용분야로 활발히 연구되고 있다. 수직형 사이리스터의 구조를 그대로 SOI 기판상에 수평으로 구현한 소자가 1999년 IEDM에서 발표된 TCCT(Thin Film Capacitively Coupled Thyristor) 이며, TCCT는 10^7에 달하는 높은 $I_{on/off}$ ratio와 수 ns 수준의 Read/Write speed를 구현하였다. 반도체 지적자산(IP) 기업인 킬로패스(Kilopass)에 따르면 수직 적층 사이리스터(Vertical Layered Thyristor, VLT) 기술을 활용해 DRAM을 생산할 경우 ~7m 노드까지 미세화가 가능하고 기존 DDR4 DRAM 과 비교해 전력 소비를 3분의 1 수준으로 줄일 수 있다고 한다. 예상되는 이슈는 우선 Epitaxial 공정 관련 이슈들과 저항과 Endurance 관련된 사항들이다. Epi공정으로 수직 구조를 형성하여야 하는데, 구조상 측벽에 Oxide를 수직으로 구현되며 이 때 Trap이 형성되면 저항 특성을 열화 시키는 요인이 될 수 있다. 배선 영역에서는 Buried Word Line 과 Silicon 반응에 의한 Silicide 형성으로 인한 전류의 누설 및 Tungsten 소실 가능성도 유의해야 할 부분이다. 또한 스케일링으로 통하여 충격이온화(Impact Ionization) 현상을 제한하더라도 실제 반복적인 소재 동작 시 P-N 접합면에서의 신뢰성에 대한 검증이 반드시 필요할 것이다.

5-3) CNT Memory (NRAM)

Nantero 社의 NRAM은 CNT(Carbon Nano Tube)가 지니는 전기적/물성적인 장점으로 Scale-Down이 가능하고 DRAM에 가까운 동작속도를 유지하면서 비휘발 특성을 구현하는 강점이 있다. 이러한 배경으로 NRAM 소자는 DRAM의 대체 또는 DRAM 향 SCM 시장을 목표로 하고 있으며, Cross Point 구조를 지향하고 있다. 기존 DRAM 구조에서 캐패시터를 CNT로 대체하여 공정 비용 절감을 구현할 수 있다. Cross Point 구조에 CNT를 적용하여 메모리 특성 구현이 가능하다면 NRAM 은 DRAM 시장의 일부를 충분히 점유할 수 있을 것으로 예상된다. 가장 큰 장점으로 예상되는 retention측면에서는 CNT의 우수한 High Thermal/ EMC(Electro-Magnetic Compatibility) Radiation Stability 특성으로 인하여 MLC 및 MLS에 적용하더라도 Retention 특성이 기존의 어떠한 소자대비 우수할 것이라 예측된다. 이는 시제품을 대상으로 하여 가혹한 EMS환경하에서도 10년 이상의 충분한 성능을 입증하였다.



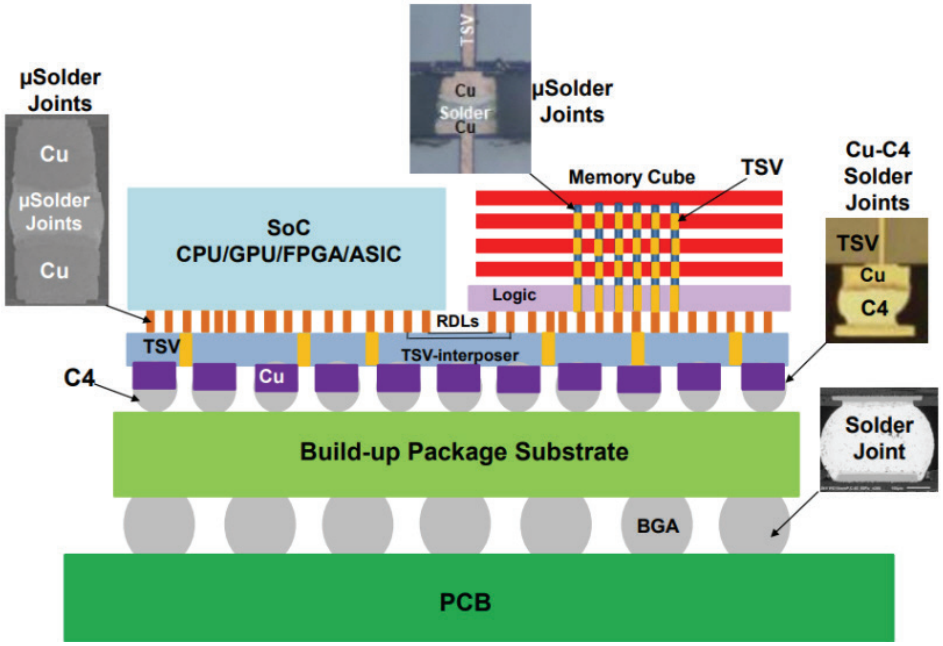
Nantero Carbon Nanotube NRAM Capacity Scaling [Nantero]

5-4) 차세대 기능성 소재응용 연구

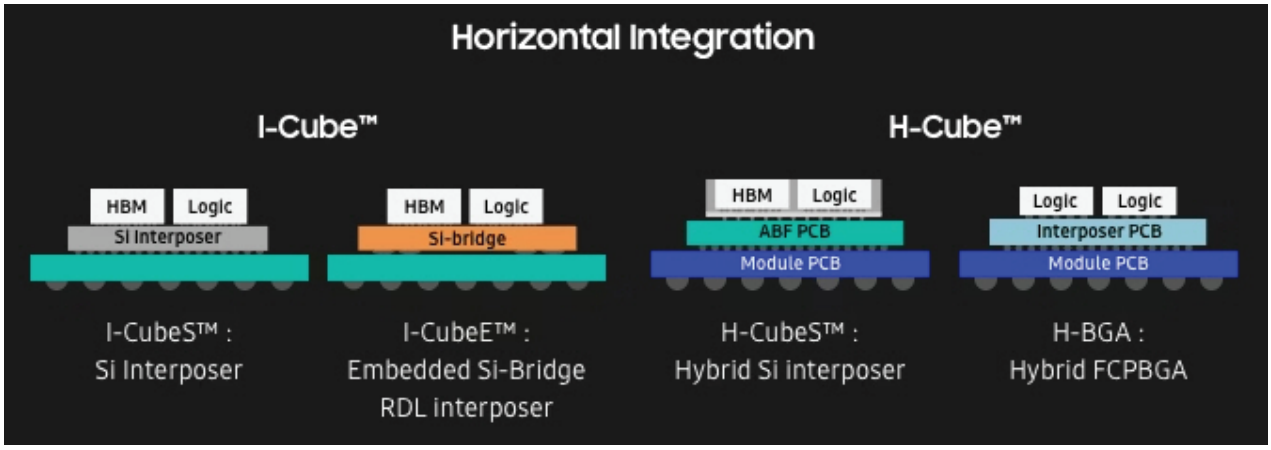
소재적인 측면에서의 혁신도 DRAM의 발전방향을 가늠할 수 있는 중요한 요인이다. 주지하는 바와 같이 충분한 유효채널길이의 확보를 위해 현재 채택하고 있는 구조는 Buried gate이다. 이 전통적인 구조를 뛰어넘어 공단화를 추구하면서도 낮은 누설전류 특성을 보일 수 있는 채널물질을 활용하는 연구도 진행 중이다. 대표적으로 IGZO(Indium-Gallium Zinc Oxide) 와 같은 매우 낮은 off 특성을 지니는 비정질 산화물 반도체를 활용하는 것인데 문턱전압의 정밀한 제어와 공정온도, 스케일링에 따른 접촉저항 특성 측면에서 지속적인 개선연구가 진행 중이다. 트랜지스터의 단채널 효과에 대한 근원적인 해법을 제시할 수 있는 2차원 극박막 소재의 연구도 활발하게 진행 중이다. 원자단위의 얇고 댕글링 본드가 없으며 defect free한 표면특성을 보이는 TMD를 필두로 한 2차원 반데르발스 반도체소재는 충분히 작은 characteristics length를 확보할 수 있다. 소자적으로는 드레인의 영향을 최소화하여 DIBL을 낮출 수 있고, 전계의 집중으로 인하여 발생하는 hot carrier의 발생확률을 낮추어 이온충격화 현상의 억제도 가능하다. 또한 bulk 채널은 큰 체적으로 인하여 표면채널보다 충격이온화가 더 활발하게 생기는데, 2차원 반데르발스 물질은 반전모드를 사용하지 않는 완전한 표면 채널 구조이기 때문에 단채널 효과의 제어가 가능한 장점을 지닌다. 이 소재는 CFET과 같은 구조로 응용이 용이한 점을 감안하면 셀 트랜지스터 뿐 아니라 PERI와 같은 구동회로 응용, 그리고 3차원 적층을 위하여 변형된 planar구조의 셀 커패시터와의 integration도 추후 고려해 볼 수 있을 것이다. 상기한 내용들이 실용화된다면 DRAM 소자기술분야에서 또 한번의 퀀텀 점프를 기대하여 볼 수 있을 것이다. 물론 2차원 물질을 본격적으로 활용하고자 한다면 무엇보다 균일한 Wafer scale 대면적 합성 기술과 Cost, Reliability, 기존 공정과의 Compatibility 등을 종합적으로 고려하여야 하지만 근본적으로 단채널효과의 억제가 가능한 소재로서 치열하게 스케일링이 지속되고 있는 현 시점에서 꾸준한 연구개발이 필요한 분야이다.

6. HBM. Packaging

현재 다기능 복합 반도체 디바이스에 대한 수요가 증가함에 따라 시스템 통합을 달성하기 위한 대안으로 3D IC Packaging이 부상하고 있다. 차세대 모바일 기기에 필



High Bandwidth Memory architecture [TSMC]



삼성전자 HBM architecture [SAMSUNG]

요한 모빌리티 성능을 갖추기 위해서는, 고효율의 컴퓨팅 시스템을 구현할 수 있는 메모리의 도입이 필요하며, 고대역폭 메모리인 HBM (High Bandwidth Memory)와 3차원 패키징기술은 그 중요성이 날로 커져가고 있다.

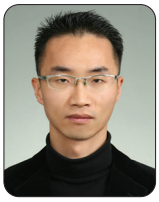
Chat GPT의 등장을 계기로 관심이 집중되고 있는 AI 알고리즘의 효율적인 학습을 위해서는 GPU의 집중적인 활용이 필수적이며, 이에 따라 GPU 내부의 메모리 성능도 중요한 요소가 되었다. HBM은 원래 고성능 그래픽 작업 목적으로 개발되었으나, AI 등으로 GPU의 활용 범위가 넓어지면서 개발수요 및 시장규모가 지속적으로 성장하고 있다. 트렌드포스가 발표한 자료에 따르면 지난해 글로벌 HBM 시장 점유율은 전 세계 DRAM M/S를 가져가고 있는 SK하이닉스와 삼성전자가 주도하고 있으며, SK 하이닉스는 HBM3E를, 삼성전자는 HBM3P 하반기 출시를 예고함에 따라 HBM 시장 주도권을 계속해서 이어 나갈 전망이다.

SK 하이닉스는 세 가지 핵심 요소기술을 차세대 패키징 기술의 키워드로 선정하였다. 첫째, 발열문제의 해결이다. Thermal budget 문제는 TSV 뿐만 아니라, 모놀리식/시퀀셜 3D와 같은 적층 패키징 기술들에 공통적으로 나타나는 이슈로서 적층공정에서의 문제 뿐 아니라, HBM 세대가 올라갈수록 파워와 동작속도가 높아짐에 따라 동작 과정에서도 충분이 두드러질 수 있을 것이다. 이러한 문제는 실리카보다 열 전도율이 획기적으로 높은 산화알루미늄, 알루미나 같은 소재를 적용하고 heat dissipation 설계 등을 효율화함으로써 해결 할 수 있을 것이다. 두 번째는 TSV 기술 을 고도화하는 것이다. 현재 12층 구조의 HBM3는 TSV와 MR-MUF 기술 등으로 방열, 데이터 전송속도 등을 맞출 수 있지만 세대가 발전하며 더욱 높은 수준의 대역폭과 die숫자가 요구되면 이에 상응하는 적층기술의 고도화가 필요할 것이다. 하이브리드 본딩 기술이나 다양한 칩을 하나의 시스템 안에 구현하려는 이종 결합방식 등이 있을 것이다.

7. 맺음말

현재 전 세계 반도체 업계는 물리적 한계에 다다른 미세 공정의 한계를 돌파하기 위한 연구개발을 치열하게 진행 중에 있으며, 대표적인 메인메모리 제품인 DRAM에서도 새로운 소재와 구조측면에서의 혁신에 기반한 패러다임의 변화가 절실한 시점이 되었다. 비정형 정보의 량이 폭증하는 IoT시대를 맞아 2025년에는 매일 463 EB(463 * 2^30 GB)정도의 데이터가 생성될 것으로 예상된다. 이러한 시대적 상황과 맞물려, 고속 인터페이스를 사용하고 용량 확장이 가능한 메모리 개발이 중요해지고 있으며 PIM(Processing-In-Memory), Computing Storage 등과 함께 CXL(Compute Express Link) 기반 DRAM 모듈 등이 그 좋은 예가 될 것이다. 하지만 이러한 모든 기술 혁신은 기본 셀 단위에서부터 소재 및 소자 분야의 혁신이 이루어져야 가능할 것이다. 본고에서는 이

러한 DRAM 소자의 최신 연구개발동향을 각 세부 요소별로 짚어보고 미래 발전 전망에 대하여 소자와 소재, 구조 그리고 응용의 측면에서 고찰하여 보았다. 미래 반도체 기술발전의 방향성을 학계와 산업계가 함께 고민하며, 국가 차원의 지속적인 관심이 이어질 때 세계 1위의 기술력과 M/S를 자랑하는 우리나라의 DRAM 산업은 그 위상을 지속할 수 있을 것이다.



허근

- 2004년 8월 고려대학교 전기전자전파공학과
- 2006년 8월 고려대학교 전자컴퓨터공학과
- 2014년 8월 고려대학교 전기전자전파공학과
- 2018년 2월 SK 하이닉스 미래기술원 책임연구원
- 2021년 2월 성균관대학교 정보통신공학과 박사후 연구원
- 2021년 3월~ 전북대학교 반도체과학기술학과 부교수

〈관심 분야〉
차세대 메모리소자, 3차원 PKG/인터커넥션 설계,
뉴로모픽.AI컴퓨팅, 2차원소재 기반 응용소자, CFET.

Flash 메모리 기술의 현황과 미래

Ⅰ. 서 론

인류의 역사는 기록과 함께한다고 보아도 무방하다. 선사시대부터 인류는 다양한 방식으로 기록을 남겨 왔으며, 문자가 발명된 이후부터 기록의 양이 지속적으로 증가하여 왔다. 종이와 활자 등의 발명으로 저장 매체에 정보를 기록하는 것이 용이해질수록, 기록을 남길 수 있는 주체와 기록되는 정보의 양이 폭발적으로 증가해 왔으며 이는 문명의 발전 속도에 지대한 영향을 주었다. 1950년대 이후 하드 디스크로 대표되는 자기 기억장치가 개발되며 디지털 저장 매체 시대를 열었고, 아직까지도 낮은 가격에 대규모의 데이터를 저장할 수 있는 저장 장치로 사용되고 있다. 그 이후 개발된 반도체 기반의 기억 장치는 PC, 모바일 기기라는 혁신적 제품 개발을 차례로 이끌어냈고, 빅 데이터와 인공지능으로 대변되는 현 시대의 기술 발전에도 필수적인 요소라고 할 수 있다.

반도체를 기반으로 한 기억 장치, 즉 메모리 반도체는 1960년대에 처음 발명되었으며, 1970년대에 이르러 Intel을 필두로 한 산업체에 의해 제품화되었다. 메모리 반도체는 전원이 꺼졌을 때 데이터 보존 가능 여부에 따라 휘발성(volatile)과 비휘발성(nonvolatile) 메모리로 구분할 수 있는데, 데이터 저장 용도로서의 메모리 반도체는 전원이 꺼지더라도 데이터 유지가 가능한 비휘발성 메모리가 사용되며, Read Only Memory(ROM)라는 명칭에서부터 발전을 시작하였다. 초기의 Mask ROM은 공정 과정 중에 데이터를 기록하며, 사용자는 이미 저장된 데이터를 읽는 것만 가능하였다. 이어 사용자가 1회 쓰기가 가능한 programmable ROM(PROM)이 개발되었으며, Bell lab의 강대원 박사가 제안한 floating gate 구조를 기반으로 ultraviolet light을 이용하여 지우기 동작이 가능한 erasable programmable ROM(EPROM)이 발표되었다. 1970년대 후반에는 전기적으로 지우기가 가능한

심 원 보
서울과학기술대학교

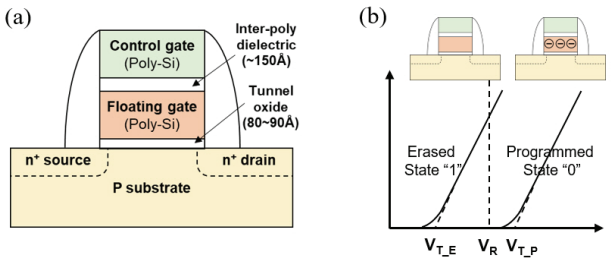
electrically erasable programmable ROM(EEPROM)이 개발되었으며, 1984년 일본의 Toshiba가 전기적으로 일괄 지우기 동작이 가능한 Flash 메모리를 선보였다[1]. Flash라는 명칭은 카메라 플래시가 깜빡이는 매우 짧은 순간 동안 데이터를 지우는 것이 가능하다는 의미로 붙여졌다. Toshiba는 1987년에 메모리 집적도를 극도로 높일 수 있는 NAND Flash를 발표하였고[2], 이것이 현재 PC와 스마트폰 등 여러 전자기기에 탑재된 고용량 메모리 반도체의 시초라고 할 수 있다.

Flash 메모리, 특히 NAND Flash는 다수의 전자기기 응용처에서 반도체 기반 디지털 저장 매체로의 전환을 만들어내었다. 필름을 이용하던 기존의 카메라는 SD card를 저장 장치로 하는 디지털 카메라로 대체되었고, PC에 사용되는 이동식 저장 장치였던 플로피 디스크와 CD는 USB 드라이브로 대체되었다. 또한 PC의 주 저장소였던 하드디스크 시장은 현재 solid-state drive(SSD)에 의해 많은 부분이 잠식되었다. 이렇듯 Flash 메모리가 저장장치로서 대세가 될 수 있었던 이유는 끊임없이 향상되는 가격 경쟁력과 더불어 기존 장치들 대비 높은 성능과 내구성, 전력 소비, 소음 및 진동, 발열, 작은 크기에서 오는 폼팩터 우세 등 다방면의 장점 때문이라고 볼 수 있다.

Flash 메모리는 크게 NOR Flash와 NAND Flash로 구분할 수 있다. 그러나 현재 NAND Flash의 시장 규모는 2021년 기준 686억 달러(출처: statistica)로 NOR Flash와 비교가 불가능할 정도로 압도적인 차이가 있으며, 그 중 대한민국의 삼성전자와 SK Hynix가 세계 시장의 절반에 육박하는 점유율을 가지고 있다. DRAM(Dynamic Random Access Memory)과 더불어 대한민국의 주요 수출 품목이자 무역수지 흑자를 이끌어내는 메모리 반도체가 바로 NAND Flash이다. 따라서 본 기고문에서는 NAND Flash에 좀 더 중점을 두어 이 기술에 대한 원리와 현안, 최신 기술동향 및 응용처와 전망에 대해 설명하고자 한다.

Ⅱ. Flash 메모리의 동작 원리

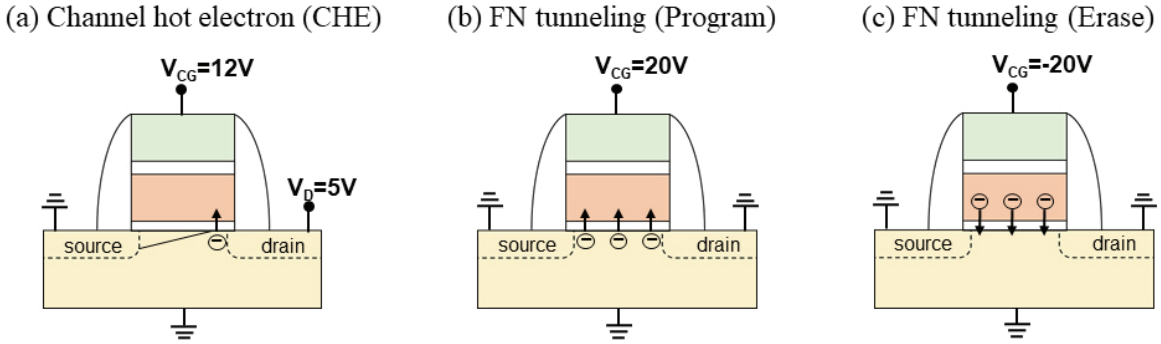
Flash 메모리의 기본 단위 소자는 〈그림 1(a)〉과 같은



〈그림 1〉 Flash 메모리 소자 구조와
erase, program 상태 소자의 I_D–V_{CG} 곡선

floating gate 트랜지스터라고 할 수 있다. NOR Flash 메모리는 floating gate 트랜지스터를 이용하여 데이터를 저장하며, NAND Flash도 과거 2차원 구조에서는 수십 년간 이 구조의 소자를 사용해왔다. 현재 NAND Flash에 사용되는 charge trap flash(CTF) 소자도 구조는 약간 다르지만 동작 원리는 대동소이하다. 이 소자는 일반적으로 p-type 기판에 n-type source와 drain을 형성하여 n-type MOSFET과 같은 방식으로 동작한다. 하지만 일반적인 구조의 MOSFET과 비교했을 때, 최상단의 control gate와 실리콘 기판의 채널 사이에 추가적인 gate가 존재하며 이는 어떠한 외부 터미널과도 연결되지 않아 전압을 인가할 수 없는 구조이므로 floating gate라고 명명한다. Control gate와 floating gate는 모두 고농도로 도핑된 폴리실리콘을 사용한다. Control gate와 floating gate 사이, floating gate와 채널 사이의 실리콘 산화막은 일반적인 로직용 MOSFET 소자 대비 두께가 두꺼우며, 이는 program 혹은 erase 시의 높은 전압을 견디기 위함이다.

〈그림 1(b)〉는 floating gate 소자의 동작 원리, 즉 program 된 상태와 erase 된 상태에서의 I_D–V_{CG} 곡선을 나타낸 것이다. 후술할 program 동작을 통해 floating gate 에 전자가 주입되면, 이는 control gate에 가해지는 양의 전압을 스크린하는 역할을 하게 된다. 따라서 주입된 전자가 없는 경우에 비해 문턱 전압이 높아지며(V_{T_P}) 채널을 형성하기 어렵게 된다. 반대로 erase 동작을 통해 floating gate 내 전자를 빼내면, 문턱 전압은 다시 낮아지게 되며(V_{T_E}) 채널 형성이 쉬워진다. 이 소자에 저장된 데이터를 읽어내는 읽기 동작을 수행하기 위해서 읽기 전압 V_R을 control gate에 인가한다. V_R은 V_{T_P}과 V_{T_E} 사

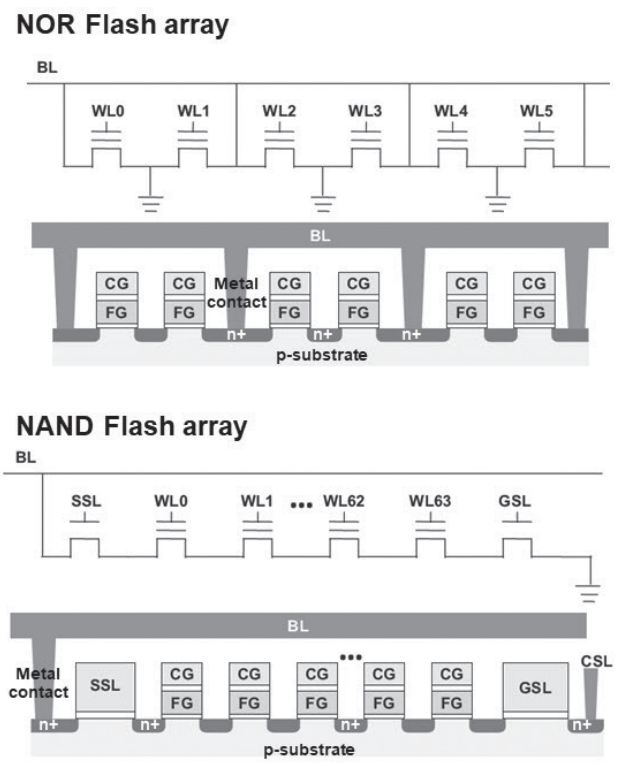


〈그림 2〉 Flash 메모리 소자 쓰기 동작 전압 조건 및 전자 이동 모식도

이의 전압으로, 〈그림 1(b)〉에서 볼 수 있듯이 program 혹은 erase 상태에 따라 control gate에 이 전압이 인가되었을 시 drain 전류가 크게 차이나며 이를 센싱회로에서 감지하여 저장된 데이터가 0인지 1인지를 판단한다.

〈그림 2〉는 Flash 메모리 소자 쓰기 동작의 두 가지 주요 메카니즘인 channel hot electron injection 방식과 Fowler-Nordheim (FN) tunneling 방식을 이용한 program과 erase 동작 전압 조건과 전자가 주입 및 방출되는 모식도를 보여준다. 방식에 관계없이 모든 경우 floating gate의 전기적 potential은 이와 맞닿은 control gate, source, drain, substrate 전압과 이들과의 coupling ratio에 의해 결정된다. 따라서 program 동작 시 control gate에 고전압에 인가되면 이에 couple up 된 floating gate가 높은 potential을 가지게 된다. 〈그림 2(a)〉처럼 drain에 높은 전압이 인가된 경우에는 drain으로 이동하는 전류 중 높은 에너지를 얻은 소수의 hot electron이 floating gate로 주입되며, 이 방식은 NOR Flash의 program 시 사용된다. 〈그림 2(b)〉와 같이 control gate에 매우 높은 전압이 인가되면서 동시에 channel이 0 V로 유지되는 경우에는 FN tunneling 메카니즘에 의해 전자가 floating gate로 주입되며, 이는 NAND Flash의 program 방식이다. 〈그림 2(c)〉의 erase 동작은 substrate에 고전압을 인가하고 control gate에 0 V를 인가하여 FN tunneling을 통해 floating gate 내부의 전자를 채널 쪽으로 빼내는 방식으로 NOR Flash와 NAND Flash에서 erase 동작 시 사용된다.

〈그림 3〉은 NOR Flash와 NAND Flash의 어레이 구조를 보여준다. NOR Flash 어레이는 이를 구동하기 위한 다수의 wordline(WL)과 bitline(BL)으로 구성되는데, 하나의 WL은 어레이의 각 행에 배열된 셀들의 control gate에 연결되며 BL은 각 열에 배열된 셀들의 drain에 연결된다. 그리고 어레이 내 모든 소자들의 source는 하나의 common source에 연결된다. 하나의 BL을 읽기 동작하는 경우, 단 하나의 셀이라도 turn on(Cell 1) 되어 drain 전류가 발생하면 BL 전압이 낮아지며(BL 0), 모든



〈그림 3〉 NOR Flash와 NAND Flash 어레이 구조

셀이 turn off(Cell 0) 되어서 전류가 흐르지 않는 경우에만 BL 전압이 높게 유지(BL 1) 될 수 있다. 이는 CMOS 로직에서 NOR gate의 pull-down 회로와 같은 동작 방식이다.

NAND Flash 역시 다수의 WL과 BL이 셀에 연결되어 있지만, 각 열의 BL과 common source line(CSL)은 각각 하나의 셀의 drain 혹은 source에만 연결되고 그 외의 셀들은 서로 간의 drain과 source가 직렬 연결된 구성을 가진다. 직렬 연결된 모든 WL의 셀이 turn on(Cell 1) 되어야 BL 전압이 낮아지며(BL 0), 하나의 셀이라도 turn off(Cell 0) 되면 BL 전압이 높게 유지(BL 1) 되므로 이는 CMOS 로직에서 NAND gate의 pull-down 회로와 같은 동작 방식이다.

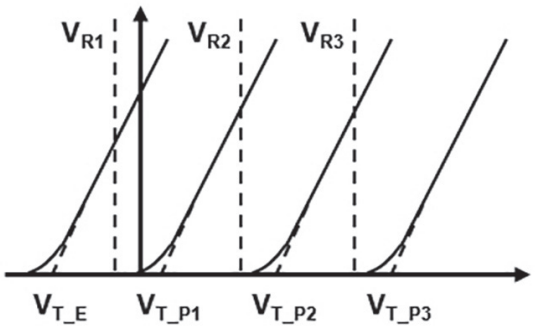
Floating gate 기반의 NOR Flash와 NAND Flash의 unit cell 간 가장 큰 구조적 차이는 BL contact via의 유무이다. NOR Flash는 어레이 구조 상 모든 unit cell에 BL contact이 연결되어야 하므로 이를 위한 면적이 확보되어야 하지만, NAND Flash는 첫 번째 셀의 source가 두 번째 셀의 drain으로 바로 연결되므로 이를 위한 면적 소모가 매우 적다. 결과적으로 하나의 셀이 차지하는 면적은 동일 technology node 기준으로 NAND Flash가 NOR Flash의 40% 수준이며, 지속적인 scaling down 기술 개발 또한 NAND Flash가 유리하다. 기술적인 측면 외에도 시장성, bit cost 등 여러 여건을 고려하여 현재 NOR Flash는 28 nm technology[3]가 최선단 기술이며 그 이상의 기술 개발은 요원한 상황이다. 반면에 NAND Flash는 floating gate technology로 14 nm technology[4]까지 양산 제품이 개발되었으며 그 이후에도 3D NAND로 전환하여 지속적인 집적도 향상이 이루어지고 있다.

Ⅲ. 고집적 NAND Flash를 위한 기술

NAND Flash 메모리 칩의 주요 feature로 성능, 전력 소모, 신뢰성 등이 있으나, 대용량 저장장치라는 응용처를 고려하면 가장 중요한 지표는 가격 경쟁력이다. 하나의 wafer에서 제작되는 NAND Flash 셀의 개수가 많아질수록 원가 경쟁력이 높아지며, 이를 위한 가장 핵심적인 기술 개발이 바로 셀 크기의 scaling down이다. 1987년 1 um technology로 제작되었던 초기 NAND Flash는 2010년대 중반 약 14 nm technology까지 발전하였다. 동일 기간 하나의 NAND Flash 칩의 용량은 수 Mb 수준에서 수백 Gb 수준으로 높아졌으며, 가격은 1 GB당 수천 달러 수준에서 1달러 미만으로 낮아졌다.

하지만 단순히 셀의 크기를 줄이는 scaling down은 여러 가지 이유로 한계에 봉착하게 된다. 물리적으로 작은 크기의 셀을 만들기 위한 공정 과정의 복잡도 증가로 인한 원가 상승, 인접 셀 간의 간격이 극도로 줄어듦으로 인한 coupling 효과가 주요 원인으로 꼽힌다. 특히 인접 셀 간 coupling 효과는 이미 데이터 저장이 완료된 셀의 문턱 전압이 인접 셀에 데이터를 쓰는 과정 중에 변하는 것으로, 높은 원가로 작은 크기의 셀을 만든다 하더라도 신뢰성을 열화시켜 사용이 어렵게 하는 원인이 된다. 따라서 단순히 셀의 크기를 줄이는 방법 외에 집적도 향상을 위해 현재 사용되고 있는 다양한 방향의 기술을 소개하고자 한다.

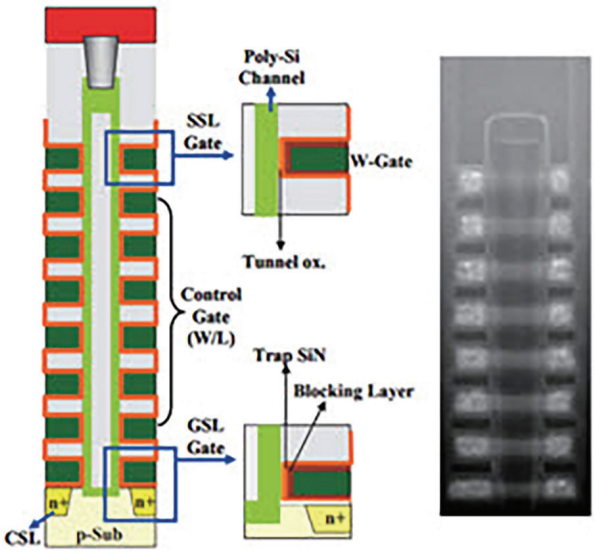
첫 번째는 multi-level cell 기술이다. 〈그림 2〉에서 볼 수 있듯이 초기 Flash 메모리 셀은 V_{T_P} 혹은 V_{T_E} 두 개의 문턱 전압을 가지며, 이는 0 혹은 1이라는 1-bit 데이터를 저장할 수 있으므로 single-level cell이라고 한다. 만약 〈그림 4〉와 같이 하나의 셀이 4개의 문턱 전압(V_{T_E}, V_{T_P1}, V_{T_P2}, V_{T_P3})을 가질 수 있다면 4개 종류의 데이터(11, 01, 00, 10)를 표현할 수 있으며, 이는 곧 2-bit 데이터를 저장할 수 있음을 의미한다. 다수의 program 상태(P1~P3)를 표현하기 위해서는 program 동작의 정



〈그림 4〉 셀당 2-bit 데이터를 저장하는 multi-level cell의 I_D-V_G

밀성을 높여야 하며, 이는 곧 program 전압을 세밀하게 조정하여 셀에 주입되는 전자의 개수를 정확하게 제어하는 기술이 중요하다는 의미이다. Flash 메모리 제작 과정에서 필연적인 셀 간 구조적 불균일성에 의해 셀 간 program 속도의 variation이 생길 수 밖에 없는데, 이로 인한 문턱 전압 variation을 줄이기 위해 program 전압을 조금씩 증가시키면서 원하는 문턱 전압을 갖는지 확인해가며 다수의 program pulse를 인가하는 incremental step pulse programming (ISPP) 스킴이 사용된다. 이때 pulse 간 전압 증가 폭을 single-level cell 대비 줄이면 multi-level cell 구현을 용이하게 할 수 있다. 단, 전압 증가 폭이 줄어든 만큼 더 많은 횟수의 program pulse를 인가해야 하므로 성능 저하는 필히 발생한다. 또한 각 state 간 문턱 전압 간격이 좁아 센싱 마진이 작기 때문에, 시간에 따른 문턱 전압 변화(retention)나 반복적 쓰기 동작에 의한 문턱 전압 변화(endurance)에 취약할 수 밖에 없으므로 전반적인 신뢰성이 낮아지게 된다.

4개의 문턱 전압으로 2-bit 데이터를 저장하는 기술을 multi-level cell 혹은 MLC라 부르며, 8개의 문턱 전압으로 3-bit 데이터를 저장하면 triple-level cell 혹은 TLC, 16개의 문턱 전압으로 4-bit 데이터를 저장하면 quadruple-level cell 혹은 QLC라고 부른다. 2023년 현재 기준으로 TLC NAND Flash의 생산량이 가장 많으며,



〈그림 5〉 삼성전자에서 제안한 TCAT 3D NAND 구조[7]

QLC NAND Flash도 고용량 저가 응용처향으로 다량 생산되고 있다. 5-bit 데이터를 저장하는 penta-level cell(PLC)과 그 이상의 bit cell을 위한 기술 개발 시도는 있으나 시장성 등을 고려하여 아직 양산 단계에는 이르지 못한 상황이다.

두 번째는 3차원 NAND Flash, 혹은 3D NAND Flash이다. 기존의 floating gate 기반 NAND Flash는 WL과 BL이 각각 wafer의 가로와 세로 방향으로 연결되는 구조이며, wafer 표면에 모든 셀이 형성되므로 2차원 NAND Flash로 부를 수 있다. 하지만, 상술했듯이 인접 셀 간 coupling에 의해 신뢰성 있는 쓰기 및 읽기 동작에 문제가 생기며 소자 크기의 scaling down에 한계가 다가오면서, 이를 극복하기 위한 새로운 NAND 구조가 제안되었다. 2007년 Toshiba가 제안한 BiCS 구조[5, 6], 2009년 삼성전자가 제안한 TCAT[7], Micron[8], Macronix[9] 등 NAND Flash 양산 업체들과 서울대학교[10] 등 대학 및 연구소의 연구진들이 Flash 셀을 적층하는 다양한 아키텍처를 논문지와 학술대회를 통해 발표하였다. 3D NAND 양산개발 초기에는 각 기업에서 각자 제안한 구조로 개발이 진행되었으나, 현재는 모든 기업이 삼성전자가 제안한 TCAT 구조를 기반으로 한 3D NAND를 양산하고 있다. 〈그림 5〉에서 볼 수 있듯이, TCAT 구조는 수직 방향의 원통 모양의 폴리실리콘이 채널의 역할을 하고, oxide-nitride-oxide(ONO) 막과 여러 층의 WL, 즉 금속 재질의 control gate가 이를 감싸는 형태를 갖는다. 하나의 원통은 하나의 NAND string이 되므로 읽기 동작 시 turn on 된 string은 상부의 BL에서 하부의 CSL로 전류가 흐른다. 2D NAND의 소자 3D NAND의 소자가 구조적으로 다른 점은, 도핑된 폴리실리콘 기반의 floating gate가 없는 대신 채널을 감싸는 ONO 막 내 nitride 층이 전하를 저장하는 역할을 한다는 것이다. 부도체인 nitride 층 내부에 존재하는 trap이 전하를 저장할 수 있기 때문이며, 이러한 종류의 Flash 셀을 charge trap flash(CTF)라고 한다. 부도체 내부 trap에 전자가 저장되므로 WL 층간 nitride 박막이 연결되어 있더라도 전자가 이동하지 않기 때문에, nitride 박막을 셀마다 분리할 필요가 없어 3D NAND 구조에서 공정 난이도를 대

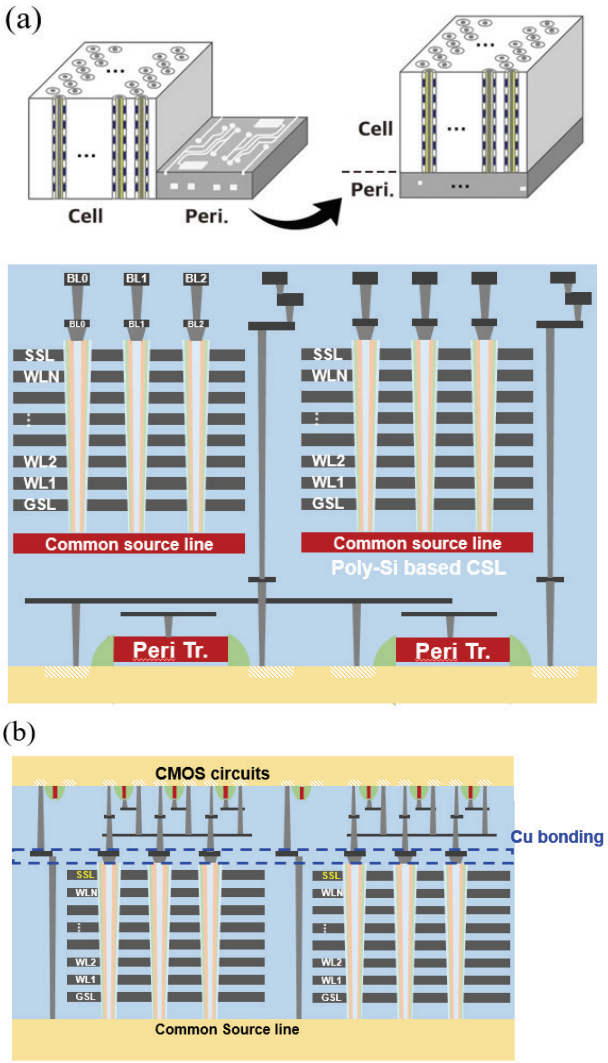
폭 낮출 수 있다는 것이 장점이다.

Ⅳ. NAND Flash의 최신 기술 동향

2014년 삼성전자는 24단 3D NAND를 양산에 성공하였고[11], 이후 IEDM, VLSI, ISSCC, FMS 등 주요 반도체 학술대회에 Kioxia (구 Toshiba), Micron 등 주요 업체가 차세대 3D NAND 제품이 개발될 때마다 경쟁적으로 발표하고 있다. 2023년 현재 300단 이상의 3D NAND가 발표되었으며, 각 기업은 그 이상의 단수 제품에 대한 roadmap을 가지고 지속적인 기술 개발을 하고 있다.

3D NAND는 집적도를 높이기 위해 수직 방향으로 단수를 늘리는 방법을 사용하므로, 위아래에 인접한 층간 셀 간격은 칩 면적에 영향을 주지 않는다. 따라서 층간 셀 간격을 충분히 확보하면, program 동작 시 인접한 셀의 문턱 전압에 영향을 주는 interference 이슈에서 자유로울 수 있고 이는 floating gate 기반 2D NAND 대비 가장 주요한 장점이다. 하지만 무작정 셀 간 간격을 늘린다면 채널 형성을 위해 원기둥 모양으로 식각하는 공정과정 시 식각해야 하는 깊이가 증가하여 공정 난이도가 증가하는 이슈가 있다. 단수가 증가할수록 이는 더욱 문제가 되므로, 채널 hole을 한 번에 식각하지 않고 여러 번에 나누어 식각하는 기술이 필요하다. 예를 들면 256단 구조는 하부의 128단 WL을 증착 후 식각을 통해 채널 hole을 형성하고, 이후 다시 상부의 128단 WL을 증착 후 hole을 식각하고 채널을 연결하는 방식이다. 업체에 따라 한 번에 식각할 수 있는 WL 단수에 차이가 있으며, 식각 횟수가 증가하는 만큼 공정 비용이 증가하므로 한 번의 식각 시 최대한 깊은 채널 hole을 형성하는 것이 원가 절감에 유리하다.

WL 단수를 증가시켜 메모리 셀 어레이의 집적도를 높이는 방법 외에, 근래에는 주변 회로의 면적을 최소화하는 기술이 도입되었다. NAND Flash 칩의 전체 면적 중 3D NAND 셀 어레이가 차지하는 면적의 비율은 약 60~70%이며, 그 외의 부분은 decoder, driver, buffer 등 셀 어레이를 구동하기 위한 회로와 전압 생성 회로, scheduler 회로, I/O 회로 등 칩의 전반적인 동작을 제어하는 주변 회로로 구성되어 있다. WL 단수를 높이면 동일 개수의 셀을 집적하는 데 필요한 면적을 줄일 수 있지만, 주변 회로 면적에는 변경이 없으므로 칩 전체의 면적 감소 효과가 반감된다. 따라서 주변 회로가 칩에서 차지하는 면적 비중을 줄이기 위해 〈그림 6(a)〉와 같이 주변 회로 공정을 먼저 진행한 이후 그 위에 셀 어레이를 형성하는 구조가 개발되었다. 이 구조를 삼성전자는 cell on peri(COP)[12], SK Hynix는 peri under cell(PUC)[13], Micron은 CMOS under array(CuA)[8]로 각기 다르게 명명하고 있으나 실질적으로는 모두 같은 구조이다.



〈그림 6〉 (a) 셀 아래에 주변 회로를 매립한 3D NAND 구조
(b) 두 개의 wafer를 별도 제작 후 bonding한 3D NAND 구조

Micron이 가장 먼저 이 기술을 채택하여 제품을 양산하였고, 최근에는 모든 업체가 이 구조에 기반한 칩을 양산하고 있다.

〈그림 6(b)〉는 두 개의 wafer 간 이종 집적을 통해 면적을 줄일 수 있는 구조이다. 상술한 COP 구조가 하나의 wafer에서 순차적으로 주변 회로와 셀 어레이를 형성하는 것인데 반해, 이종 집적 구조는 셀 어레이를 하나의 wafer에서 제작하고, 별도의 wafer에서 주변 회로를 제작한 이후 각 wafer의 top에 형성한 pad 간 hybrid bonding 공정을 통해 연결하는 공정 방법을 사용한다. 공정 및 설계의 난이도가 증가하지만, 주변 회로를 별개의 wafer에서 제작하므로 공정 시 heat budget에서 자유롭다. 따라서 고성능의 I/O 회로 구현이 가능하면서, 각 wafer를 별도 제작하므로 fab. in to fab. out 시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있다. 중국의 YMTC가 이 아키텍처를 이용한 64단 3D NAND를 2018년에 발표하였다[14].

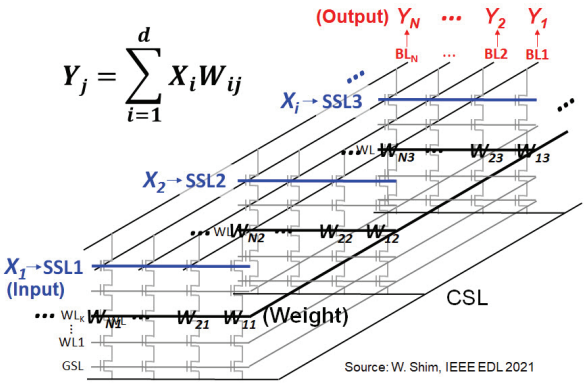
V. Flash 메모리의 응용처

NAND Flash는 고집적 구조라는 장점을 바탕으로 PC, 스마트폰, 서버 등 응용처의 대용량 데이터 스토리지로 활용된다. 2023년 기준 주요 신규 스마트폰에 탑재되는 NAND Flash 용량은 작게는 128 GB에서 최대 1 TB에 달하며, 서버에 탑재되는 SSD는 최대 수십 TB의 용량을 가진다. 어떠한 모바일 기기에도 적합한 작은 폼팩터와 고용량 디바이스 구현의 용이함에 힘입어, NAND Flash는 앞으로도 여타 다른 메모리로 대체 불가능할 공고한 위치를 가지고 있다.

NAND Flash 대비 상대적으로 시장 규모는 작지만, NOR Flash는 NAND Flash 대비 빠른 읽기 속도를 가지고 있어 code 스토리지 용도로서의 수요가 존재한다. 또한 로직 공정에 호환 가능한 embedded Flash로의 활용도 가능하여, 작은 규모의 MCU에 embedded 되어 데이터를 저장하는 응용처에도 활용된다.

상술한 스토리지 용도 외에, NOR Flash 메모리는 전력 효율이 높은 AI 반도체 개발을 위한 processing-in-memory(PIM)에도 적합한 구조와 특성을 가지고 있다. 근래의 AI 알고리즘은 엄청난 양의 matrix multiplication 연산을 수행해야 하는데, 기존의 von Neumann 아키텍처는 프로세서와 메모리가 분리되어 있어 이들 간 데이터 이동 중 전력 소모가 극심하다. 따라서 이를 극복하기 위해 메모리 내부에서 연산을 수행하는 PIM이 대안으로 제시되고 있으며, 그 중 아날로그 PIM 방식은 weight 데이터를 병렬 연결된 다수 메모리 소자에 컨덕턴스 형태로 저장하고 이를 아날로그 전류로 합산하고 센싱하는 방식으로 구현된다. Resistive Random Access Memory (RRAM), PCM (Phase Change Memory) 등 2단자 소자들에 기반한 연구가 다수 진행된 바 있는데, NOR Flash는 이들에 비해 이미 성숙한 공정기술이 확보되어 있으면서도 embedded 공정이 가능하다는 장점이 있다. 학계에서는 Silicon Storage Technology(SST) 사의 embedded NOR Flash를 기반으로 Univ. of Santa Barbara에서 칩을 제작하여 발표한 바가 있으며[15], 미국의 스타트업인 Mythic 사에서 NOR Flash 기반의 AI 가속 디바이스를 제품화하여 출시하였다[16].

NAND Flash 역시 PIM 응용에 활용될 수 있다. 특히 NAND Flash의 높은 집적도는 현재 높은 관심을 받고 있는 초거대 AI 모델의 PIM 구현에 매우 적합하다. OpenAI의 GPT, Google 사의 PaLM 등 대표적인 생성형 언어 모델의 파라미터 개수가 이미 1천 억 개 이상인데, 이러한 거대 규모의 파라미터를 저장하면서 동시에 메모



〈그림 7〉 3D NAND Flash 어레이 내 PIM 구현을 위한 matrix multiplication 연산 방법[17]

리 내부 연산을 할 수 있는 후보군으로서 NAND Flash는 매우 유리한 위치에 있다고 할 수 있다. 하지만 NAND Flash는 로직 embedded 공정이 불가능하여 시제품을 생산할 수 있는 파운드리 서비스가 부재하기 때문에, 현재까지 발표된 결과들은 스토리지용 NAND Flash의 전기적 특성 및 아키텍처를 이용하여 PIM 응용이 충분히 가능하며 높은 효율을 얻을 수 있음을 시뮬레이션으로 검증한 연구라고 볼 수 있다. 〈그림 7〉과 같이 Georgia Tech과 서울과학기술대학교[17, 18], 서울대학교[19, 20] 등 연구 기관과 대만의 Macronix[21]가 관련 내용을 선보인 바 있다.

Ⅵ. 전망과 결론

NAND Flash가 가지는 대용량 스토리지 디바이스로서의 위치는 공고하며, 이를 대체할 만한 어떠한 후보군도 현재 존재하지 않으므로 향후에도 굳건하게 유지될 수 있을 것이다. 다만 생산자 입장에서 본다면, NAND Flash의 대량 생산이 가능한 기업의 수가 DRAM 대비 상대적으로 많고, 현재로서는 이들 간의 기술 격차가 크지 않기 때문에 치열한 경쟁에서 오는 생산 이익률의 이슈가 존재할 수 있다. 한때 NAND Flash를 직접 생산했던 Intel이 SK Hynix에 NAND 부문을 매각하기도 하였으나, 중국의 YMTC 사가 새로운 벤더로 포함되어 경쟁에 뛰어들고 있는 상황이다. 결국 경쟁에서 이기기 위해서는 위에서 소개한 wafer bonding 등 혁신적인 최신 기술의 적기 확보가 무엇보다도 중요하며, 이를 위해 다양한 전공의 인력들이 모여 융합적 기술을 완성도 높게 개발할 수 있는 환경이 갖춰질 필요가 있다. 때문에 단순히 생산 업체들만의 경쟁력 확보를 넘어, 대학 및 연구소에서도 Flash 메모리에 대한 관심을 가지고 인력을 키워낼 수 있도록 국가 차원에서의 기틀을 마련하는 것이 중요하다.

또한 스토리지 응용처 외에, 고부가가치를 창출할 수 있는 PIM 응용처에서 Flash 메모리가 활용될 수 있는 기반을 마련할 필요가 있다. 세계적으로 앞선 Flash 메모리 기술력과 인력을 바탕으로 PIM 기술 개발에서 앞서나가기 위해, 선제적인 기술 확보와 실물 구현을 시도해볼 수 있는 메모리 파운드리 등 산학연 협력이 필수적이며, 이를 위한 연구 개발과 당사자 간 토론, 지속적인 국가적 지원이 확대될 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] F. Masuoka et al., "A new flash E2PROM cell using triple polysilicon technology," IEDM 1984

[2] F. Masuoka et al., "New ultra high density EPROM and flash EEPROM with NAND structure cell," IEDM 1987

[3] Y. Taito et al., "A 28 nm Embedded Split-Gate MONOS (SG-MONOS) Flash Macro for Automotive Achieving 6.4 GB/s Read Throughput by 200 MHz No-Wait Read Operation and 2.0 MB/s Write Throughput at Tj of 170C", JSSC 2016

[4] S. Lee et al., "A 128Gb 2b/cell NAND flash memory in 14nm technology with tPROG=640μs and 800MB/s I/O rate," ISSCC 2016

[5] H. Tanaka et al., "Bit Cost Scalable Technology with Punch and Plug Process for Ultra High Density Flash Memory", VLSI Technology 2007

[6] R. Katsumata et al., "Pipe-shaped BiCS flash memory with 16 stacked layers and multi-level-cell operation for ultra high density storage devices", VLSI Technology 2009

[7] J. Jang et al, "Vertical cell array using TCAT(Terabit Cell Array Transistor) technology for ultra high density NAND flash memory", VLSI Technology 2009

[8] K. Parat, C. Dennison, "A floating gate based 3D NAND technology with CMOS under array", IEDM 2015

[9] H. -T. Lue et al., "A highly scalable 8-layer 3D vertical-gate (VG) TFT NAND Flash using junction-free buried channel BE-SONOS device", VLSI Technology 2010

[10] J.-G. Yun et al., "Single-Crystalline Si STacked ARray (STAR) NAND Flash Memory", IEEE TED 2010

[11] K. -T. Park et al., "Three-dimensional 128Gb MLC vertical NAND Flash-memory with 24-WL stacked layers and 50MB/s high-speed programming," ISSCC 2014

[12] J. Cho et al., "A 512Gb 3b/Cell 7th-Generation 3D-NAND Flash Memory with 184MB/s Write Throughput and 2.0Gb/s Interface", ISSCC 2021

[13] H. Huh et al., "A 1Tb 4b/Cell 96-Stacked-WL 3D NAND Flash Memory with 30MB/s Program Throughput Using Peripheral Circuit Under Memory Cell Array Technique", ISSCC 2020

[14] H. Zhu, "Xtacking: A Platform of NAND Flash Innovation", Flash memory summit 2018

[15] X. Guo et al., "Fast, energy-efficient, robust, and reproducible mixed-signal neuromorphic classifier based on embedded NOR flash memory technology", IEDM 2017

[16] L. Fick et al., "Analog Matrix Processor for Edge AI Real-Time Video Analytics", ISSCC 2022

[17] W. Shim, S. Yu, "Technological design of 3D NAND based compute-in-memory architecture for GB-scale deep neural network," IEEE EDL 2021

[18] W. Shim, S. Yu, "GP3D: 3D NAND based In-memory Graph Processing Accelerator", IEEE JETCAS 2022

[19] S. Song et al., "Spiking Neural Network with Weight-Sharing Synaptic Array for Multi-Input Processing", IEEE EDL 2022

[20] S. -T. Lee et al., "High-Density and Highly-Reliable Binary Neural Networks Using NAND Flash Memory Cells as Synaptic Devices," IEDM 2019

[21] H. -T. Lue et al., "Optimal Design Methods to Transform 3D NAND Flash into a High-Density, High-Bandwidth and Low-Power Nonvolatile Computing in Memory (nvCIM) Accelerator for Deep-Learning Neural Networks (DNN)", IEDM 2019

심원보

- 2007년 2월 서울대학교 전기공학부 학사
- 2013년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
- 2013년 6월 ~ 2019년 5월 삼성전자 Flash설계팀 책임연구원
- 2019년 6월 ~ 2021년 8월 Georgia Institute of Technology 박사후연구원
- 2021년 9월 ~ 현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 조교수

〈관심 분야〉
낸드플래시 메모리, 인메모리 컴퓨팅, Processing-in-memory, CIM/PIM 시스템 시뮬레이터

RRAM 소자 공정 기술의 과거와 최근 연구 동향

Ⅰ. 서 론

인공지능(AI)의 발달과 더불어 인간의 뇌를 모방한 인공 시냅스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 기술을 기반으로 한 하드웨어는 빠르게 진화했고 성공적인 AI 응용을 위해 성능이 향상된 고급 하드웨어의 개발은 필수적이다. 다. 뉴로모픽 컴퓨팅은 폰 노이만 컴퓨팅 아키텍처의 한계를 극복하기 위한 컴퓨팅 패러다임입니다. 폰 노이만 아키텍처는 저장과 작업을 별도로 처리하기 때문에 병목 현상이 발생합니다. 반면, 인공신경망(ANN)을 기반으로 한 뉴로모픽 컴퓨팅은 대량의 데이터를 병렬로 처리하여 전력 소모가 크다는 장점이 있다. 하드웨어 기반의 뉴로모픽 응용을 위한 다양한 유형의 새로운 메모리 반도체 소자 중, 저항성 랜덤 액세스 메모리(RRAM)가 가장 유망한 후보입니다. RRAM은 두 개의 전극 사이에 중간층을 삽입하는 단순한 구조이기 때문에 $4F^2$라는 작은 feature size를 차지하며 집적도가 높다는 장점이 있다. 또한 빠른 동작 속도, 낮은 동작전압과 전류, 우수한 retention과 endurance, 그리고 CMOS 호환성이 좋은 특성으로 인해 산업적 관점에서도 장점이 있다.

본 특집원고 RRAM 기사에는 2004년부터 연구가 되었던 고집적 스토리지 메모리로 RRAM의 기술 개발과 바야흐로 인공지능 시대를 맞이하며 뉴로모픽시스템 기술에 적용이 가능한 RRAM을 포함한 최신 기술 연구동향에 대해 알아보기로 한다. 과거 RRAM 기술의 정리를 통해 RRAM에 대해 처음 연구를 시작하는 연구자들에게 가이드라인을 제공해 줄 것이며 과거 RRAM 기술개발에서 중요했던 논문들 특히 IEEE IEDM에 발표된 중요 논문을 언급하고자 한다. 또한 세계적으로 유명한 IMEC과 같은 반도체 관련 연구소나 삼성전자 및 SK하이닉스

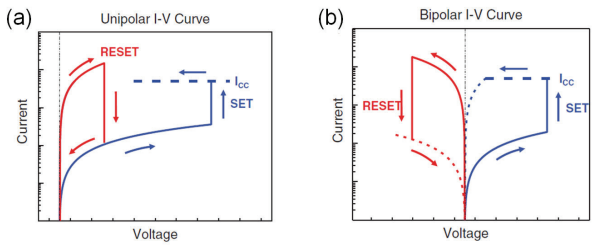
김성준
동국대학교

같은 산업체에서 발표한 RRAM 기술에 대해서도 정리해서 소개를 하였다.

Ⅱ. 과거 RRAM 연구 동향

저항변화메모리 스위칭 효과는 1960년대 SiO2 물질에서 처음으로 발견이 되었으나 그 당시에는 활용 가능한 응용처가 제시가 되지 않았고 메모리 소자로 성능이 검증되지 못해서 그 당시 산업체나 학계에 주목을 받지 못하였다. 저항변화 메모리효과는 Leon Chua 교수에 의해 멤리스터의 이론적인 연구가 이어졌고 [1] 2000년대 초반에 RRAM 메모리로 분류할 수 있는 많은 연구가 여러 회사 및 학계에서 다시 시작이 되었다. 2012년에는 Rambus, Panasonic 등 여러 회사에서 1T1R 메모리 셀 기반으로 하는 RRAM 키트를 만들었다. 2013년에는 Crossbar에서 1TB의 크기의 RRAM 프로토타입을 출시하였고 이 벤처회사에서 발표한 구조는 저널 및 학회 논문으로도 발표가 되었다 [2].

Leon Chua교수의 이론을 따르는 HP 출신 연구자들을 중심으로 RRAM을 포함한 2단자 소자를 멤리스터(memristor)로 분류해야 한다고 주장하였다 [3]. 실제로 현재까지도 많은 논문들은 멤리스터와 RRAM의 용어가 대부분 특별한 기준이 없이 혼용되서 사용되는 부분이 있다. RRAM의 동작은 일반적인 절연성을 가진 유전체에 유의미한 전압이 인가되게 되면 유전체 안에 컨덕팅한 필라멘트 혹은 디펙이 형성이 되어서 전체 소자 시스템의 전도도가 증가하게 된다. 반대 과정으로 추가적인 전압이 인가되면 필라멘트가 파괴되어서 메모리 전체 시스템에 전도도가 감소하고 이 현상은 반복해서 쓰고 지우기가 가능하여 메모리 기능을 할 수 있게 된다 〈그림 1〉. RRAM



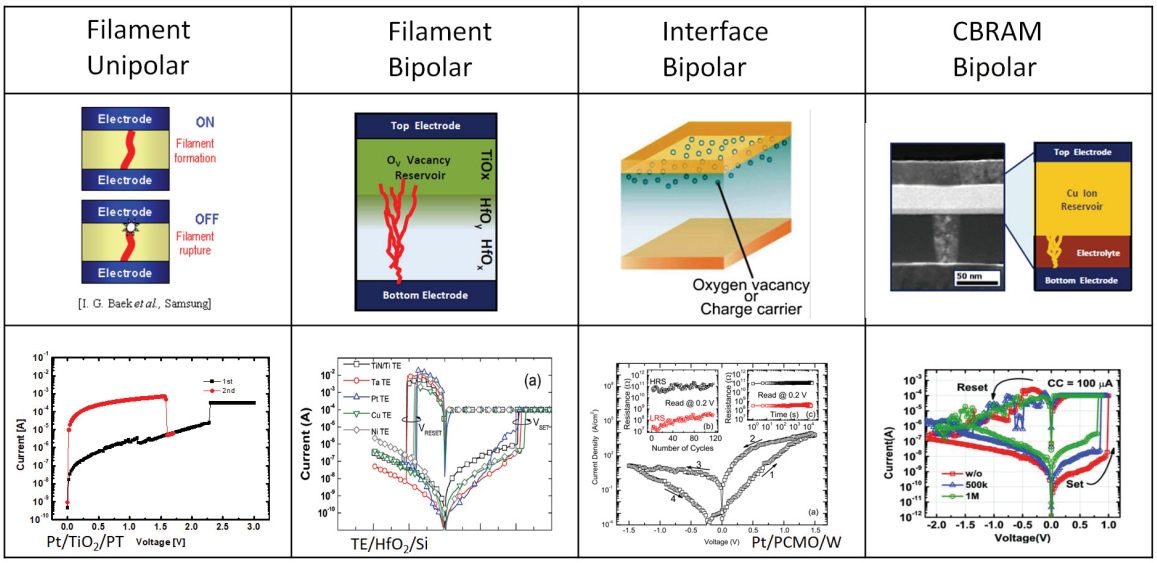
〈그림 1〉 RRAM의 (a) unipolar 스위칭과 (b) bipolar 스위칭 곡선

의 스위칭메커니즘은 RRAM 물질별로 다양하며 2009년에 Rainer Waser 교수가 출판한 논문에 잘 정리가 되어 있다 [4].

2000년 초반에 NiO와 TiO_2 물질을 사용한 RRAM 위주로 산업체와 학계에서 개발과 연구가 집중이 되었다 [5]. 이 당시 RRAM의 연구자들의 대부분은 unipolar switching 극성의 메모리 동작에 더 큰 관심을 가졌다. 삼성전자는 그 당시 p-n 다이오드를 선택소자로 사용하였고 메모리 소자로 PRAM의 기술을 가지고 있었고 PRAM과 유사한 한 방향에서 스위칭 동작이 가능한 unipolar RRAM을 PRAM을 위협할 수 있는 후보군으로 잠시 생각을 하였다. Unipolar RRAM 소자는 PRAM에서 개발된 공정과 주변회로 등 플랫폼을 거의 그대로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있었다. 이 당시 NiO, TiO_2 뿐만아니라 거의 모든 metal oxide에서도 다양한 스위칭이 발견이 되어서 2000년에서 2010년사이에는 굉장히 많은 물질에서 저항변화 스위칭 현상이 탐색이 되었다. 국외에서는 독일의 Waser 교수 연구팀에서 저항변화 스위칭에 대한 이론을 정립하여 선구적인 역할을 하였다 [4]. 국내에서는 서울대학교 재료공학부 황철성교수 연구팀에서 물질 특성 및 성능에 획기적인 개선 보다는 스위칭 메커니즘 관련 선구적인 연구 결과를 보였다 [6].

많은 연구자들에 의해 unipolar RRAM의 특성 개선을 위해 재료적, 구조적 많은 노력에도 불구하고 NiO, TiO_2를 중심으로 하는 단극성 스위칭 모드에서는 mA 이상의 높은 전류가 흐르고 쓰고/지우고 하는 횟수가 일반적으로 1,000회 이상 기록하기 어렵고 스위칭 및 셀 간 큰 산포라는 치명적인 단점을 개선하는데 어려움을 겪었다.

따라서 2010년을 전후로 하여 RRAM 연구자들의 대부분은 필라멘터리 bipolar switching 특성에 더 많은 관심을 가지게 되었다. 대표적인 물질로는 MOSFET에 gate dielectric으로 많이 사용이 되는 HfO_2가 새로운 주된 RRAM 스위칭 연구 물질이 되었다 [7]. 또한 삼성전자종합기술원에서 scalable 가능한 TaOx에서 HfO_2 RRAM 이상의 메모리 스위칭 성능을 보고하여 RRAM 연구자들의 많은 관심을 받았다 [8]. 위의 두 개의 high-k 물질 뿐만 아니라 organic 물질 [9], 2D 물질 [10], nitride [11],



〈그림 2〉 스위칭 타입에 따른 스위칭 모델 및 I-V 곡선

perovskite [12] 등 굉장히 광범히 한 물질들에서 우수한 저항변화메모리 스위칭이 관찰이 되었다. 실제로 2017년에는 계란흰자에서 추출한 물질에서 저항변화 스위칭 현상이 관찰이 되었다 [13]. 한편으로 이런 광범위한 물질이 저항변화물질의 후보군이 될 수 있는 점은 장점이자 단점이 될 수 있다. PRAM처럼 스위칭층이 GeSbTe (GST) 물질인 경우 한 가지로 고정이 되어서 개발에 집중을 할 수 있는 반면에 RRAM의 경우 물질 자체가 광범위 해서 개발에 분산이 되어서 한 물질에 집중하기 어려운 단점이 있다. 특히 재현성에 문제가 있는 RRAM의 경우 증착방법이나 측정 환경/방법에 따라서 조금씩 다른 특성이 보고가 되고 산포가 고르지 못한 점에서 메모리반도체칩 상용화에 어느정도 어려움이 존재한다. RRAM 연구의 입문자를 위해 실제 RRAM 소자를 연구하는 방법에 대한 리포트는 다음 레퍼런스 논문을 참고하면 된다. [14] 실제로 싱글 셀에서는 굉장히 우수한 특성들이 많이 보고가 되었다. 예를들어 TaOx 기반 RRAM 소자에서 1012 이상의 endurance cycle, DRAM 과 동등한 수준의 latency, 플래시메모리와 동등한 용량과 가격경쟁력을 갖추지만 RRAM을 어레이 레벨에서 성능평가는 sneak current path 이슈와 셀 간 산포 등의 이슈로 인해서 성능이 급격하게 떨어지는 문제점이 존재한다.

양극성 타입의 저항변화메모리 스위칭은 필라멘터리 타입과 다른 인터페이스 스위칭도 존재한다. 인터페이스 타입 스위칭은 상부전극과 스위칭층 사이 전체 면적에 defect 혹은 ion의 농도의 변화에 의한 Shottky barrier modulation이 발생하여 저항변화 스위칭이 발생한다 [15]. 대표적인 인터터페이스 타입의 물질로는 밴드갭이 작은 WOx나 TiOx (TiOx는 필라멘터리 타입으로도 동작 함)가 있고 ZnO, SnO, IGZO같은 amorphous semicondudctor oxides 같은 물질을 사용한 RRAM에서도 인터페이스타입의 스위칭 거동을 보인다. 인터페이스 타입의 양극성 스위칭은 필라멘터리 타입 보다는 대체로 작은 endurance 사이클을 보여주고 스위칭 속도는 더 오래 걸리는 단점을 가지고 있다. 또한 retention이 좋지 않아사 메모리소자로 치명적인 약점을 가지고 있다. 하지만 점진적인 스위칭의 컨트롤 능력이 굉장히 우수하며 multi-level cells (MLC) 적용이 용이하며 cyle-to-cycle의 산포가 굉장히 우수하다. 〈그림 2〉는 위에서 언급한 4가지 스위칭 타입에 대한 분류를 보여준다.

만약 한쪽의 전극이 Ag나 Cu처럼 diffusivity가 좋은 전극을 사용한 RRAM에 전압을 인가하게 되면 Ag나 Cu 이온이 산화/환원 반응에 의해 insulator 안으로 침투해서 필라멘트를 형성을 하게 된다. 반대 극성의 전압을 인가하면 필라멘트가 끊어져서 저항변화 상태가 다시 바뀌게 된다. 이와 같은 RRAM을 conductive bridge

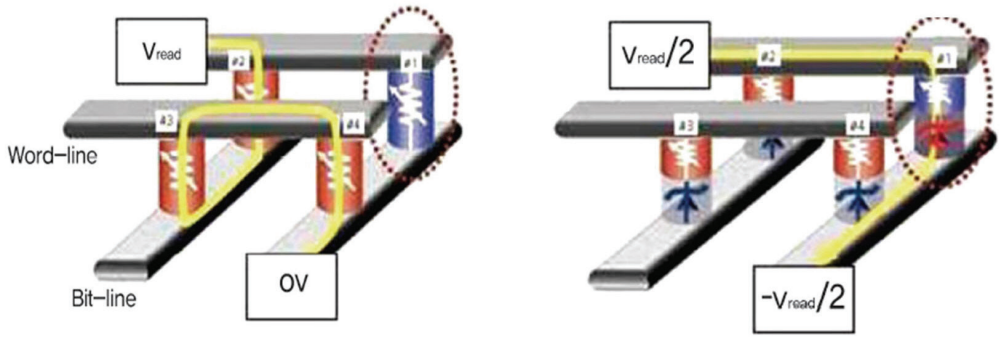
random access memory (CBRAM) 으로 독립적으로 분류할 수 있다. 특히 Ag를 상부전극으로 사용하게 되면 insulator 층(저항변화 층)의 역할이 상대적으로 덜 중요하고 어떤 insulator를 사용해도 대부분 스위칭이 발생한다. IMEC 에서는 2010년 기점으로 CBRAM에 대해서도 엄밀한 실험을 진행하여 빠른 스위칭 속도 등 유의미한 결과 [16]들을 발표하였지만 TaOx나 HfO_2 기반의 필라멘터리 RRAM 대비 더 우수한 메모리소자 성능을 확보하지 못한 것으로 보인다 [17]. Cu와 Ag 이외에도 Te, In, Co 등 CBRAM 동작으로 스위칭을 설명하는 다른 active 한 금속이 나왔다. Co 기반의 CBRAM은 2019년 IMEC에서 IEDM 학회에 발표를 하였고 Cu 기반의 CBRAM 대비 더 낮은 전류에서 안정적인 비휘발성 메모리 동작을 할 수 있음을 규명하였다 [18].

RRAM의 insulator 층은 단순히 한 층의 금속산화막을 사용하기보다는 최소 2종 혹은 3종의 금속산화막을 추가로 삽입을 하여 저항변화메모리의 특성이 개선되는 복수의 결과가 보고가 되었다. 예를들어 메탈 전극과 산소이온과 반응을 막는 barrier 층 혹은 반대로 oxygen exchange layer처럼 산소 이온의 교환을 도와주는 층을 삽입할 수 있다. 또한 낮은 전압에서 self-compliance를 형성해서 I-V 커브의 비선형성을 증가시킬 수도 있고 current overshoot을 방지 할 수도 있다.

RRAM의 고집적 메모리로 사용을 위해 소자의 미세 공정을 통해 소자의 동작 특성과 신뢰성이 검증이 되야 하지만 현재까지 5 nm 수준의 CD에서 우수한 특성의 RRAM 동작은 엄밀하게 검증이 되지 않았다. 필라멘타리 타입의 RRAM의 경우 셀 사이즈가 scaling이 되면 필라멘트의 컨트롤이 용이할 수 있지만 반대로 oxygen ion/defect의 작은 변화에 스위칭이 크게 영향을 받을 수 있다.

2010년 초반에도 HfO_2와 TaOx 기반의 고집적 스토리지 메모리의 연구가 많이 진행이 되었고 플래시메모리를 대체 하기에는 가격 경쟁력과 RRAM의 고질적인 산포 문제 등을 해결하기에는 많은 어려움이 여전히 존재하였다. 특히 failure mechansim 관련해서 다양한 재료적인 물리적인 분석 관련 논문들이 많이 보고가 되었으나 RRAM의 스위칭은 결국 stochastic한 성향으로 근원적인 산포가 존재할 수 밖에 없는 결론으로 수렴하는 상황이다. IMEC에서는 RRAM의 소자 스위칭 실패에 대한 원인으로 current overshoot을 부각을 시켰다 [19]. 즉 stoichimetry 한 HfO_2 층에서는 forming 전압이 크고 이는 current overshoot을 야기 시켜서 스위칭의 불안정성을 가져온다. SK하이닉스에서는 reset 스위칭에서 전류가 감소한 후 다시 breakdown 되는 현상을 주목하여 negative-set이라 명명하고 reset 스위칭의 주된 스위칭 실패의 원인으로 규명하였다 [20].

대략 2015년 이후부터는 학계에서도 어레이 장비가 보급이 되서 RRAM 소자를 단순히 싱글 셀에로 분석하기보다는 어레이 레벨에서 소자를 테스트를 하는 결과들이 나오기 시작하였다. RRAM의 어레이 동작을 위해서는 기본적으로 half-bias voltage scheme이 사용이 된다 [21]. 이 전압 인가조건에서 특정 타겟 셀을 reading 할 때 인접한 RRAM 셀 사이에 누설전류가 발생하고 이는 read error를 피할 수 없다 〈그림 3〉. 따라서 각각의 메모리셀에 MOSFET 같은 트랜지스터를 연결을 해서 누설전류



〈그림 3〉 교차형 어레이 구조에서 sneak current path (누설전류)

를 막아주는 방법이 있다. 하지만 트랜지스터는 기본적으로 6F2의 셀 크기를 가지는 단점을 가지고 있어서 고집적 교차형 어레이 구조에서는 사용이 부적합하다. 양극성 스위칭 동작을 하는 RRAM 소자는 단극성 스위칭 소자와 다르게 양방향의 비선형적인 I-V 특성을 보이는 선택소자가 사용이 되어야 한다. 따라서 이 당시부터 양방향 다이오드 특성을 가지는 소자의 개발이 활발히 진행이 되었다 [22]. VOx나 NbOx 물질은 metal-insulator-transition (MIT) 현상을 통해서 특정 전압에서 전류가 갑자기 급격하게 증가되는 현상을 보여서 선택소자로 활용이 가능하다. 하지만 이 두 물질은 높은 온도에서 셀렉터 특성을 잃어버리는 단점을 가지고 있다. Tunnel barrier 타입의 전압의 크기에 따라서 Direct tunneling과 FN tunneling의 전류 흐름의 차이를 이용해서 선택소자로 사용이 될 수 있는데 이 경우 낮은 선택비가 단점이다. Mixed Ionic-Electron Conduction (MIEC) 선택소자는 IBM을 중심으로 연구가 되었다. MIEC은 높은 선택비와 낮은 leakage current를 가지는 장점과 Cu 이온의 오염이슈와 문턱전압을 조절하기 어려운 점들이 단점을 동시에 가지고 있다. 상부전극을 Cu나 Ag로 사용을 한 MIM 스택의 경우 높은 경사를 가지면서 급격한 전류 변화와 함께 volatile 한 스위칭이 발생한다. 하지만 이 소자의 경우 volatile 한 특성이 유지가 되려면 낮은 제한 전류가 걸려야 하기 때문에 마이크로암페어 이상의 전류에서 동작하는 메모리에는 사용되기가 어렵다. Ovonic threshold switching (OTS) 선택소자는 Chalcogenide 물질을 기반으로 한다. 삼성전자는 Si과 N같은 추가적인 물질을 추가하여 공정과 물질의 최적화를 통해 우수한 endurance와 산포를 가지는 선택소자를 보고하였다 [23]. OTS는 산업체에서 주력으로 개발하는 PRAM 뿐만 아니라 RRAM에도 적용이 가능하다. 다른 셀렉터 후보군에 비해 on/off ratio가 다소 낮고 셀렉터로서 제공하는 전류 레벨이 낮아서 모든 RRAM의 선택소자로는 적합하지는 않다. 국내 및 해외기관에서는 스퍼터링 증착방식으로 2성분계의 OTS 선택소자를 제작하여 특성 및 메커니즘을 분석을 진행하였으나 기존에 삼성전자에서 발표된 다성분계의 OTS의 성능 이상의 재현성 있는 결과는 보고가 되지 않았다.

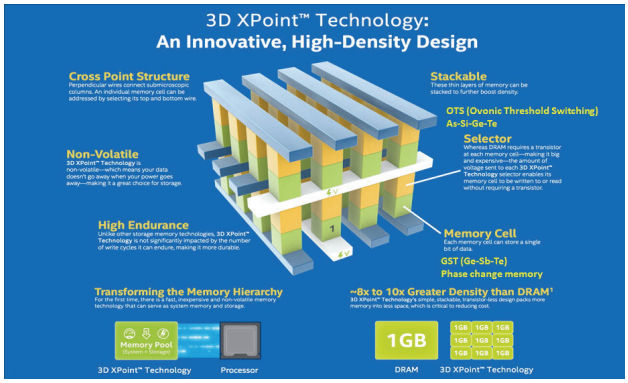
Crossbar사는 Field assisted superlinear threshold (FAST)라는 선택소자를 개발하여 2014년에 우수한 성능을 IEDM에 발표하였다 [24]. 하지만 물질의 정보가 정확히 공개가 되지 않고 유의미한 후속적인 연구가 보고되지 않은 것으로 보아서 산업체에서 PRAM 같은 메모리 소자의 선택소자 양산에 적용하기에는 잘 알려지지 않은 약점이 존재하는 것으로 추정된다. SK하이닉스는 SiO_2 층에 고농도의 As을 주입하여 우수한 선택비와 내구성을 가지는 선택소자를 개발하였고 이 선택소자는 RRAM 교차형 어레이 뿐만 아니라 STT-MRAM 어레이에도 선택소자로 사용이 가능한 것을 보였다 [25].

어레이구조에서 누설전류를 방지하기 위해 추가적인 선택소자를 각각의 메모리 소자에 바로 스택하는 방법과는 다르게 단순히 MIM 소자 내부에 비선형적인 I-V 커브를 가질 수 있는 기능을 넣는 자체 선택 소자 (self-selection) 역시 오래전에 제안이 되었다. 이는 MIM (메모리소자) 와 MIM (선택소자)사이에 intermixing 되는 현상을 피할 수 있고 스택의 레이어의 두께가 절반 이하로 줄어 들어서 식각의 난이도가 쉬워지는 공정적인 이점을 가질 수 있다. 특히 VNAND처럼 집적도를 극대화하는 구조인 Vertical RRAM (VRRAM)을 제작할 시 측벽에 메모리와 선택소자의 두께는 전체 셀 사이즈와 직결되서 문제를 야기시킬 수 있다. 자체선택 소자 기능을 포함하는 메모리소자 제작 방법으로는 크게 두 가지 방법이 있다. 첫 번째로는 SiO_2나 Al_2O_3 같은 밴드갭이 큰 insulator를 추가적으로 삽입하여 DT과 FNT의 터널링 차이를 이용해서 비선형적인 I-V 곡선을 얻을 수 있다 [26]. 하지만 저항변화메모리 층에서 RRAM 스위칭이 발생하는 사이에 터널베리어가 쉽게 breakdown이 될 수 있는 문제가 발생할 수 있다. 또한 터널베리어 삽입된 메모리 소자의 경우 선택비의 값이 대체로 높지 않은 단점을 가지고 있다. 자체선택소자를 포함한 메모리 소자의 경우 상부전극과 하부전극의 일함수 차이가 큰 함수의 금속 사이에 high-k 같은 저항변화 스위칭 물질이 삽입된 소자의 경우 소자의 breakdown이 발생하지 않은 전류 영역에서는 양방향 극성의 전류의 차이가 굉장

히 큰 self-rectifying 거동이 보인다. 대표적인 스택으로 Pt/Ta_2O_5/HfOx/TiN 스택이 있다 [27]. 이와 같은 스택이 VRRAM 구조에 메모리 소자로 활용이 되면 cell 면적이나 공정적인 측면에서 여러 이점을 가진다. 하지만 위와 같은 소자의 경우 retention이 좋지 않은 특성을 보여서 일반적인 고집적 스토리지 메모리로 활용되기에는 뚜렷한 한계점을 가진다. 최근에 Self-rectifying 타입 RRAM에서 리텐션이 개선되는 연구가 보고가 되었다. [28].

III. 인공지능 시대의 RRAM 연구 동향

2015년에 인텔과 마이크론에 의해서 공동 개발된 3D XPoint 비휘발성 메모리가 공개가 되었다 [29] 〈그림 4〉. 2017년부터는 마켓에 Optane이란 이름으로 판매가 되었다. 3DXPoint는 기존에 삼성전자 같은 반도체칩 메이커 회사에서 개발했던 PRAM 물질인 GST를 데이터를 저장하는 메모리셀로 사용하고 OTS 셀렉터를 메모리셀에 스택하여 교차형으로 배열해서 만든 메모리이다. 3D라는 용어는 교차형 어레이를 2층으로 쌓았고 4층, 6층, 8층 계속 쌓을 수 있는 구조를 가진다. 즉 적층 방향으로 확장성을 가지고 있다. 하지만 이 구조의 경우 VNAND나 VRRAM 같은 수직적층형 3D구조와 다르게 층을 올릴 때마다 공정 단가가 비싼 사진 공정이 층수와 비례해서 추가 되어야 하므로 cost-effective 측면에서 단점을 가진다. 3DXpoint 발표 당시 SSD 보다 속도가 빠르고 DRAM 보다 더 높은 집적도를 가지고 있는 장점을 내세



〈그림 4〉 인텔의 3DXpoint 기술의 구조 및 성능 벤치마킹

웠으나 달리 말하면 어중간한 메모리로 분류가 될 수 있다. 이 Optane 메모리는 RAM과 플래시메모리의 중간적인 성격으로 storage class memory (SCM)라는 메모리계층에 새로운 층으로 정의가 가능하다. PRAM 3DXpoint 구조와 동일한 공정이 가능하고 메모리 특성이 유사한 RRAM 역시 SCM으로 사용이 가능하다.

2010년 초에 메모리를 기존에 폰노이만 구조의 틀에 벗어나 새로운 컨셉인 뉴로모픽 컴퓨팅에 적용하고자 하는 노력이 본격적으로 시작되었다. 뉴로모픽 시스템은 초저전력으로 동작하는 인간의 뇌를 모방하는 기술이다. Deep learning 기술 대신에 행렬곱 연산이 가능한 이상적인 하드웨어 기반의 뉴로모픽 시스템을 구현을 하게 되면 기존의 폰노이만 구조보다 복잡한 task를 더 낮은 파워 소모로 연산이 가능하다. 뉴로모픽 시스템은 다시 spiking neural network (SNN), deep neural network (DNN) 그리고 convolutional neural network (CNN) 등으로 구분할 수 있다. SNN은 뉴런 어레이가 integrate & fire 회로 그리고 시냅스로는 RRAM 같은 메모리소자 어레이로 구성될 수 있다. 학습 알고리즘으로는 생물학적인 시스템에서 영감을 받은 spike-timing dependent plasticity(STDP)나 spike rate dependent plasticity(SRDP) 등이 존재한다. SNN은 이상적으로는 파워소모가 굉장히 작지만 학습알고리즘을 뉴로모픽 시스템으로 정확히 반영하는데 어려움이 따른다. 반면에 DNN을 사용하는 뉴로모픽 시스템은 software 시스템과 동일한 back-propagation 알고리즘을 사용하여 뉴로모픽 시스템 구현을 조금 더 쉽게 적용이 가능한 장점을 가진다 [30].

뉴로모픽시스템 기술은 IoT 디바이스, 웨어러블 디바이스, 자율주행 등 다양한 분야에 향후 인공지능 반도체 시대에 활용이 될 핵심기술로 분류될 수 있다. 실질적인 컨셉은 Processing-in-memory (PIM) 등으로 분류될 수 있다. 즉 이 구조는 메모리와 연산을 최대한 가까운 공간에서 처리하는 컴퓨팅 기술이다. 대략 2012년 전후로 IEDM 학회에서 RRAM을 단순히 storage memory로 사용하고자 하는 어플리케이션 이외에 RRAM을 시냅스소자로 적용하고자 하는 프로토타입이 시작이 되었

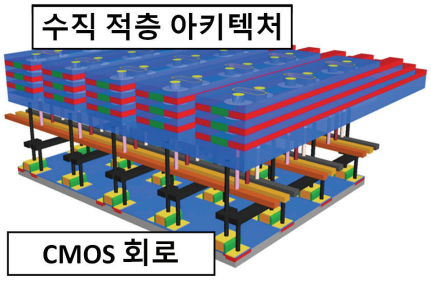
다. 이와 관련해서 국내에서는 GIST/포스텍 황현상교수 연구팀이 가장 먼저 선도적인 연구를 발표하였다 [31]. RRAM은 two-terminal 소자로 신경계의 뉴런과 시냅스의 신경 전달하는 과정을 모사 하기에 구조적으로 생물학적 시스템과 유사한 구조를 가졌다. 따라서 시냅스소자로 여러 메모리 중에서 현재까지 RRAM 이 가장 많은 연구가 진행 되었다. 시냅스 소자로서의 역할을 잘하기 위해서는 하나의 메모리 셀에서 많은 state를 가져야 하고 저장된 상태를 잘 유지를 해야 한다. 또한 낮은 에너지로 즉 낮은 전압과 전류 그리고 빠른 스위칭 속도를 가져야 한다. 더불어 펄스에 의해 조절 가능한 컨덕턴스의 범위 (dynamic range)가 커야 하며 conductance update를 하는 과정이 선형적이고 대칭적인 potentiation과 depression이 반도체소자에서 요구하는 중요한 스펙이 되었다. 따라서 RRAM 소자 연구에서는 선형성과 대칭성을 개선 시키기 위해 소자의 컨덕턴스의 급격한 변화보다는 점진적인 스위칭 특성을 얻기 위한 방법을 고안하기 시작했다. 기존에 필라멘터리 타입 스위칭은 근원적으로 급격한 스위칭의 특성을 가지는 문제점을 가지고 있고 인터페이스 타입 RRAM은 retention이 좋지 않은 약점을 가진다. 따라서 두 개의 중간적인 성격을 가지는 weak filamentary 타입에 대한 모델에 대한 탐구가 진행되었다. 인터페이스 타입에서 retention을 개선 시키는 것이 중요한 연구 방향이다. 또한 필라멘터리 타입 스위칭을 가지는 RRAM에서 binary 상태를 가져도 높은 뉴로모픽 시스템 성능을 가지기 위해서 컴퓨터 사이언스 분야에서는 뉴로모픽 시스템 레벨에의 연구도 활발히 진행이 되었다. RRAM을 시냅스소자로 성능 테스트를 하는 가장 보편적이고 쉬운 방법은 MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology database) 데이터 셋과 뉴럴네트워크 모델을 사용하여 패턴의 인식률을 계산하는 것이다. 대부분의 RRAM 논문들은 싱글 셀에서 potentiation/depression 곡선을 이용하여 단순한 딥러닝 모델에서 패턴 인식률을 구하는 결과들이 많이 발표가 되었으나 최근에는 RRAM 어레이를 하드웨어로 제작하여 행렬곱 연산에 의한 전류의 합을 통한 뉴로모픽 시뮬레이션 적용하여 보다 진보된 연구 결과들이 나오고 있다 [32].

향후 위에서 정리한 다양한 스위칭 타입에 따른 다양한 특성들을 사용할 수 있는 적합한 새로운 킬러 어플리케이션이 나오면 RRAM을 다방면으로 활용이 될 가능성이 열려있다. Recurrent neural network (RNN)은 피드백 연결을 통해 순차적 입력을 인코딩할 수 있기 때문에 동적 데이터 처리에 적합하다. Reservoir computing (RC), 축적형 컴퓨팅은 RNN 기반이며 시간적 데이터와 순차적 데이터를 모두 처리할 수 있는 컴퓨팅 패러다임이다. 휘발성 특성을 가진 RRAM을 RC의 물리적 저장고로 사용을 하게 되면 학습 비용을 줄일 수 있다 [33].

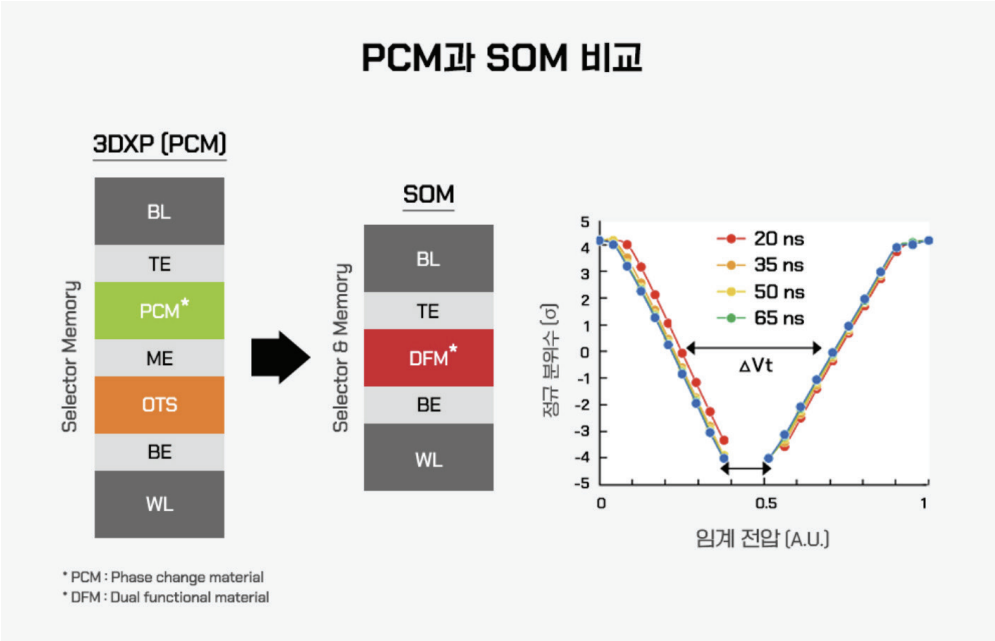
RRAM 소자의 무작위성과 확률적 스위칭에 기반으로 하는 Physically unclonable function (PUF)를 구현하여 하드웨어 기반 보안 기본 요소를 실현할 수 있다 [34]. 다른 보안 접근 방법으로 RRAM의 random telegraph noise (RTN)을 사용한 true random number generator (TRNG) 은 랜덤한 bits를 생산하고 키 보안이나 디지털 서명으로 사용이 될 수 있다 [35].

SK하이닉스는 2018년말에 VNAND의 집적도를 더 높이기 위해 peri 위에 메모리를 적층하는 컨셉의 4D 낸드플래시컨셉을 발표 하였다. 최근에는 세계에서 가장 작은 사이즈의 칩으로 238단 4D 낸드플래시 양산에 돌입을 하였다. 시냅스 동작을 하는 3D 메모리 어레이를 위와 유사한 컨셉으로 집적 공정기술이 개발이 되면 고집적 뉴로모픽 칩의 설계가 가능할 것이다 〈그림 5〉.

Compute eXpress Link (CXL)은 CPU, GPU, AI 가속기 등의 효율적인 시스템 구축을 위한 표준화 인터페이스이다. SK하이닉스는 CXL 환경에 적합한 Selector-Only Memory (SOM)을 발표하였다 [36,37] 〈그림 6〉.



〈그림 5〉 Vertical stack over circuit 구조의 인공지능 플랫폼



〈그림 6〉 SOM 메모리의 스택 구조 및 I-V 곡선

3DXpoint 메모리에서 메모리 셀와 선택소자 셀을 집적하다 보면 높은 종횡비의 식각 등의 공정의 난이도가 복잡해지는 단점을 가지고 있다. SOM은 self-selection 기능을 포함한 칼코제나이드 재료 기반의 메모리로서 한 개의 MIM 셀에서 메모리와 선택소자의 기능을 동시에 제공이 가능하다. 양방향 쓰기 동작 시 문턱전압을 변화시켜서 최소 2가지 이상의 상태값을 쓰고 지울 수 있다. 성능면에서 SSM은 3DXP 보다 쓰기 시간과 전력 소모면에서 이점을 가지고 있다. SOM 역시 궁극적으로 추구하는 방향은 단순히 3DXpoint처럼 위로 교차형 어레이를 쌓는 방법보다는 VNAND처럼 낮은 가격으로 집적도를 증가시키는 방향인 VSOM으로 개발이 진행되고 있다.

IV. 전망과 결론

본 잡지기사에서는 RRAM의 과거 연구개발의 역사와 최신 RRAM 및 3DXpoint 기술에 대해서 소개를 하였다. 2000년대 초반부터 시작된 RRAM 연구는 20년 동안 연구자들의 많은 노력으로 메모리 자체 성능적으로 많은 발전을 하였고 메커니즘적으로도 깊이 있는 이론이 정립이 되었다. 하지만 그 사이에 플래시메모리 등 다른 메모리 역시 급격한 성장을 이루면서 RRAM은 여전히 고집적메모리로서는 다소 모호한 경쟁력을 갖추고 있다. 최근에 인공지능 반도체 시대에 도래하면서 연산과 저장의 경계가 허물어지고 있고 뉴로모픽 연산을 위해 RRAM이 다시 주목을 받고 있는 점은 RRAM 연구자와 개발자에게 긍정적이다. 하지만 RRAM을 포함한 이머징 메모리가 더 성장하기 위해서는 새로운 킬러 어플리케이션이 뚜렷하게 제시가 되어야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] L. Chua "Memristor The missing circuit element" IEEE Trans. Circuit Theory, 1971, 18, 507-519.

[2] S. H. Cho, et al., "Nanoscale Memristor Device as Synapse in Neuromorphic Systems", Nano Lett. 2010, 10, 1297-1301.

[3] D. B. Strukov, et. al., "The missing Memristor found" Nature 2008, 453, 80-83.

[4] R. Waser, et al. "Redox-based resistive switching memories-nanoionic mechnism, prospects and challenge", Adv. Mater. 2009, 21, 2632-2663.

[5] I. G. Baek. et al., Highly scalable non-volatile resistive memory using simple binary oxide driven by asymmetric unipolar

voltage pulses Tech. Dig. IEDM 2004, 587.

[6] D.H. Kwon. et al., "Atomic structure of conducting nanofilaments in TiO2 resistive switching memory", Nature Nanotechnol. 2010, 5, 148–153.

[7] H. Y. Lee. et al., "Low-power and Nanosecond Switching in Robust Hafnium Oxide Resistive Memory With a Thin Ti Cap" IEEE Electron. Dev. Lett. 2010, 31, 44–46.

[8] M.-J. Lee. et al., "A fast, high-endurance and scalable non-volatile memory device made from asymmetric Ta2O5-x/TaO2-x bilayer structures. Nature Mater. 2011, 10, 625–630.

[9] S. Gao. et al., "Organic and hybrid resistive switching materials and devices" Chem. Soc. Rev. 2019, 48, 1531–1565.

[10] S. Bhattacharjee et al., "Insights into Multilevel Resistive Switching in Monolayer MoS2" ACS Appl. Maer. Interfaces 2020, 12, 6022–6029.

[11] X. Jiang et al., "a-SiNx:H-based ultra-low power resistive random access memory with tunable si dangling bond conduction paths" Sci. Rep. 20215, 5, 15762.

[12] D. Panda and T.-Y. Tseng, "Perovskite Oxides as Resistive Switching Memories: A Review" Ferroelectrics, 2014, 471, 23–64.

[13] J. X. Zhu et al., "Flexible, tranferable and conformal egg albumen based resistive switching memory devices" 2017, 7, 32114–32119.

[14] M. Lanza et al., Recommended Methods to Study Resistive Switching Devies.

[15] A. Sawa "Resistive switching in transition metal oxides" Materialstoday 2008, 11, 28–36.

[16] A. Belmonte et al., "90 nm W/Al2O3/TiW/Cu 1T1R CBRAM cell showing low-power fast and disturb-free operation" IEEE IMW 2013.

[17] A. Belmonte et al., "Effect of the switching layer on CBRAM reliabiliy and benchmarking against OxRAM devices" Solid-State Electronics 2021, 184, 108058.

[18] A. Belmonte et al., "Co Active Electrode Enhances CBRAM Performance and Scaling Potential" IEEE IEDM 2019.

[19] D. C. Gilmer et al., "Effects of RRAM Stack Configuration on Forming Voltage and Current Overshoot" IEEE IMW 2011.

[20] W. Y. Park et al., "Improvement of sensing margin and reset switching fail of RRAM" Solid-State Electronics 2019, 156, 87–91

[21] A. Chen "A Comprehensive Crossbar Array Model With Soulutions for Line Resistance and Nonlinear Device Characteristics, IEEE Trans. Electron. Dev. 2013, 60, 1318–1326.

[22] G.W. Burr et. al., Access devices for 3D crosspoint memory" J. Vac. Sci. Technol. B 2014, 32 040802.

[23] M. J. Lee et. al., Highly-scalable threshold switching select device based on chaclogenide galsses for 3D nanoscaled memory arrays. IEDM 2012.

[24] S. H. Cho et. al., 3D-stackable corssbar resistive memory based on Field Assisted Superlinear Threshold (FAST) selector. IEDM 2014.

[25] S. G. Kim et al., Breakthrough of selector technology for cross-point 25-nm ReRAM 2017, IEEE IEDM.

[26] S. Ki, et al., Resistive switching characteristics of Si3N4-based resistive switching random access memory cell with tunnel barrier for high density integration and low-power applications. Appl. Phys. Lett. 2015, 106, 212106.

[27] J. H. Yoon et al., Highly Uniform, Electroforming-Free, Self-Rectifying Resistive Memory in the Pt/Ta2O5/HfO2-x/TiN structure. Adv. Func. Mater. 2014, 24, 5086–5095.

[28] G. kim et al., "Retention Secured Nonlinear and Self-Rectifying Analog Charge Trap Mem ristor for Energy-Efficient Neuromorphic Hardware Adv. Sci. 2022, 10, 2205654.

[29] D. Kau et al., A stackable cross point Phase Change Memory, IEEE IEDM 2009.

[30] C.H. Kim et al., Emerging memory technologies for neuromorphic computing. Nanotechnology 2018, 30, 032001.

[31] S. Park et al., RRAM-based synapse for neuromorphic system with pattern recognition function. IEDM 2012.

[32] W. H. Cheong et. al., Demonstration of Neuromodulation-

inspired Stashing System for Energy-efficient Learning of Spiking Neural Network using a Self- Rectifying Memristor Array, Adv. Funct. Mater. 2022, 32, 2200337

[33] C. Du et al., Reservoir computing using dynamic memristors for temporal information processing. Nature communications 2017, 8, 2204.

[34] J. Park et al., Highly Reliable Physical Unclonable Functions using Memristor Crossbar with Tunneling Conduction. IEDM 2022.

[35] G. Kim et al., Self-clocking fast and variation tolerant true random number generator based on a stochastic mott Memristor Nature communications 2021, 12, 2906.

[36] J. Yi et. al., The chalcogenide-based memory technology continues: beyond 20nm 4-deck 256Gb cross-point memory.

[37] SK하이닉스 뉴스룸 http://news/skhynix.co.kr/post/rtc-cxl-solution

김 성 준

- 2011년 2월 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 학사
- 2013년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사
- 2017년 8월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
- 2018년 2월 삼성전자 반도체연구소 책임연구원
- 2020년 2월 충북대학교 전자공학부 조교수
- 2022년 8월 동국대학교 전자전기공학부 조교수
- 2022년 9월~ 동국대학교 전자전기공학부 부교수

〈관심 분야〉
RRAM & FTJ 기반 뉴로모픽 반도체 소자 및 공정

상변화 메모리 연구 개발 동향

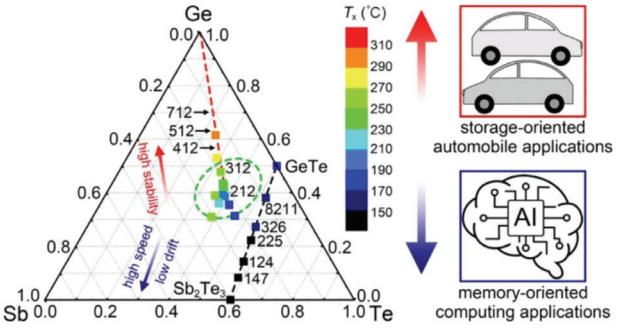
Ⅰ. 서 론

1968년 Stanford Ovshinsky는 저명 물리학 저널인 Physical Review Letters(이하 PRL)에 “Reversible switching phenomena in disordered structures”라는 제목의 논문을 게재하였다 [1]. 이 논문에서 최초로 칼코제나이드(chalcogenide) 재료가 갖는 두 가지 상(phase), 즉, 저항성(resistive)인 비정질 상(amorphous phase)과 전도성(conducting)인 결정질 상(crystalline phase)에 대하여, 전기적으로 서로 가역적으로 변환시킬 수 있음을 제안하게 되고, 이것이 바로 현대의 상변화메모리(phase change memory) 연구의 기원(origin)이 된다.

칼코제나이드는 주기율표 상의 16족 칼코겐(chalcogen) 원소인 황(S, sulfur), 셀레늄(Se, selenium), 텔러륨(Te, tellurium)을 기반으로 하는 화합물을 뜻한다. 텔러륨과 게르마늄(Ge, germanium), 안티모니(Sb, antimony)로 이루어진 3성분계(ternary) 재료는 흔히 칼코제나이드 글래스(chalcogenide glass)라 불리며, 비정질/결정질 사이의 상변화가 용이하여 상변화재료라고도 불린다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 기본 상변화재료는 Ge, Sb, Te가 2:2:5의 비율로 섞인 $Ge_2Sb_2Te_5$(이하 GST)이다. 대부분의 경우, GST에 C, O, N 등을 첨가하여 물성을 조절하여 사용한다. 〈그림 1〉에 보이는 바와 같이 조성에 따라 결정화 특성에 차이가 있으며 다른 응용처에 사용 가능하다 [2].

첫 단락에 언급한 칼코제나이드가 가질 수 있는 두 가지 상은 원자들이 무질서하게 배열된 비정질 상과 규칙적으로 배열된 결정질 상이다. Ovshinsky의 1968년 PRL 논문에서는 무질서한 상태(disordered state)와 정돈된 상태(ordered state)로 표현되어 있다. 비정질 상은 비저항이 높고, 결정질 상은 비저항이 낮다. 또한, 비정질 상은 빛에

권용우
홍익대학교



〈그림 1〉 Ge–Sb–Te 3성분계(ternary) 상평형도(phase diagram) [2]

대한 반사율이 낮고, 결정질 상은 반사율이 높다. 비저항 차이는 메모리 소자에 응용되며, 반사율 차이는 CD, DVD 등에 응용된다. 칼코제나이드 글래스 재료는 후자인 CD, DVD 등의 옵티컬 스토리지(optical storage)에 먼저 적용되어 널리 사용되었으며, 상변화 메모리의 경우는 2015년 인텔과 마이크론에서 3D 크로스포인트 메모리 소자 기술을 채용한 옵테인 메모리 제품을 출시하였으나, 시장에 잘 안착하지 못하였다.

그럼에도 불구하고, 여전히 DRAM과 Flash 메모리에 비해 뛰어난 장점들이 있고, 또한 기존 메모리 응용 외에도 뉴로모픽, 포토닉스 등에서 신규 응용처들이 제안되고 있기 때문에 여전히 활발하게 연구되고 있다. 또한, 초저전력, 초고속, 고신뢰성 등의 다양한 응용을 위하여 신조성, 신구조를 갖는 상변화 신소재, 그리고, 기존에 알려진 재료에 대해서도 나노 스케일에서 갖는 새로운 상변화 특성 등에 대한 연구가 전 세계적으로 활발하게 이루어지고 있다. 본 지면에서는 비정질화, 결정화와 같은 상변화 현상의 기초, 이를 응용한 상변화 메모리의 동작 원리 및 발전 역사와 최근의 기술 개발 동향에 대하여 전망을 소개한다.

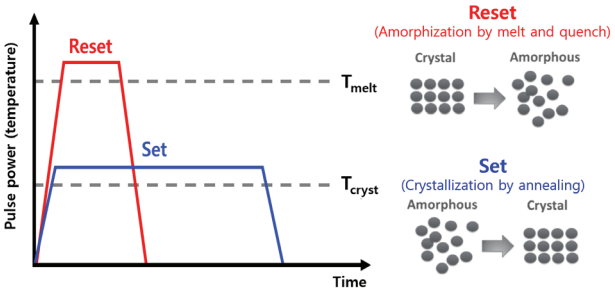
Ⅱ. 상변화재료의 상변화 거동

원자 배열이 불규칙한 비정질 상과 규칙적인 결정질 상의 가역적인 상변화 방법은 재료 공정의 기본 원리를 그대로 활용한다. 일반적으로 결정질 상은 비정질 상보다 더 안정하다. 다시 말해 결정질의 에너지 상태가 비정질의 에너지 상태보다 낮다. 한 원자를 기준으로 놓고 봤을 때, 그 원자와 주변 원자들 간 화학 결합력의 벡터합이 결정질의 경우는 0이 되어 안정하고, 비정질의 경우는 0이 되지 않게 되어 불안정하다. 만일, 충분한 시간과 충분한 원자 이동성이 주어지면, 불안정한 비정질 상은 자발적으로 안정한 결정질 상으로 변화한다. 반면, 결정질 상은 자발적으로 비정질 상으로 변화할 수 없다.

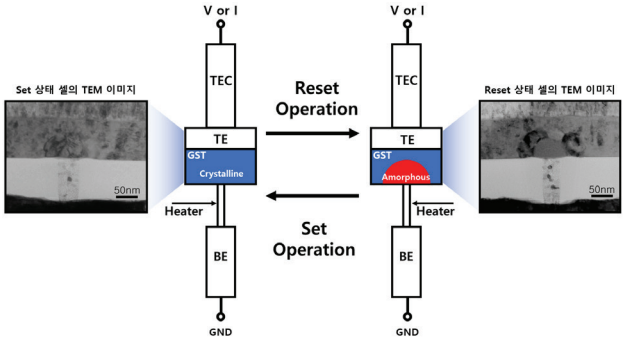
비정질화(amorphization)는 재료를 가열하여 녹인 후, 이를 다시 급냉시키는 멜트–켄치(melt and quench) 과정을 통하여 이루어진다. 녹는점 이상에서 액체 상태가 되면 원자들이 자유롭게 움직인다. 이 상태에서 갑자기 급냉시켜 순간적으로 불규칙한 원자 배열을 그대로 얼려버리는 것이다 (freeze–out). 다시 말해, 원자들이 규칙적으로 배열할 시간을 주지 않고, 원자 이동도가 0에 가깝게 되는 상온(room temperature)에 도달하게 만드는 것이다.

결정화는 어닐링(annealing)이라 불리는 열처리에 의하여 이루어진다. 결정질 상은 비정질 상보다 안정한 상이므로 원자들의 이동도만 충분히 주어진다면 모든 비정질 상은 자발적으로 결정질로 변화한다. 온도가 올라가면 원자들의 이동도가 올라가게 된다. 어닐링은 상온보다는 훨씬 높지만, 녹는점보다는 낮은 온도로 충분한 시간 동안 가열하는 것이다. 다시 말해, 어닐링은 원자들의 이동도를 높이게 되고, 또한 결정질로 재배열할 수 있는 충분한 시간을 주는 것이다. 다만, 온도를 무조건 높인다고 결정화가 잘되는 것은 아니다. 어느 온도를 넘어 녹는점에 가까워지면 오히려 결정화가 더 안 되게 된다. 일반적으로 어닐링은 절대 온도 기준으로 녹는점의 60–80% 온도에서 진행된다.

위에 기술한 비정질화와 결정화는 모든 재료들에 적용되는 일반적인 사항이다. 대표적인 칼코제나이드인 GST225의 경우 녹는점이 889K, 결정화 온도는 약 650K으로 상변화 메모리에 응용하기에 적절하다. 녹는점, 결정화 온도 등은 조성, 도핑 등에 의하여 조절 가능하다. 칼코제나이드를 녹는점 이상으로 가열한 후 열 공급을 멈추면 공기 중에서 스스로 냉각되면서 비정질화가 된다. 반면, 대부분의 금속 재료는 결정성을 가지려는 경향이 매우 강하여, 비정질 상을 만드는 것이 매우 어렵



〈그림 2〉 (a) (좌) Reset, Set 동작 펄스 개형, (우) Reset/ Set 펄스에 의한 상변화재료의 비정질화와 결정화



〈그림 3〉 상변화메모리 소자의 구조(side view)와 Set, Reset 상태 메모리 셀의 TEM 이미지

다. 칼코제나이드처럼 열 공급을 멈추는 것만으로는 비정질화가 되지 않는다. 반대로 많은 부도체 재료들은 결정질을 만드는 것이 쉽지 않거나, 결정질 상을 만들더라도 칼코제나이드처럼 전도성을 갖게 되지 않는다. 결론적으로 칼코제나이드는 비정질화와 결정화가 용이함과 동시에 두 상 사이의 전기전도도 차이가 충분히 크다는 특징을 갖는다. 이러한 이유로 상변화 재료라고 불리며, 상변화 메모리에 활용되고 있다.

비정질화와 결정화에 의하여 각각 높은 저항 상태(HRS, high resistance state), 낮은 저항 상태 (LRS, low resistance state)를 만들고, 이는 앞서 기술한 바와 같이 열을 어떻게 공급하느냐에 의해 결정된다. 옵티컬 스토리지의 경우는 레이저를 활용하여 열을 공급하며, 상변화 메모리는 전기적 바이어스(electrical bias) 인가에 의한 줄열(Joule heating)을 통하여 열을 공급한다. 이런 관점에서 "CD, DVD를 굽는다(burn)"는 표현은 매우 정확한 표현이다. 비정질화, 결정화를 위한 전기적 또는 레이저 펄스에 대하여 〈그림 2〉에 도시하였다. 비정질화는 녹는점 이상으로 온도를 올릴 수 있도록 충분히 높은 파워를 공급하는 것이 중요하다. 반면에 결정화는 녹는점보다 다소 낮은 온도에서 충분한 시간 동안 파워를 공급한다.

Ⅲ. 상변화 메모리 소자

가장 대표적인 상변화 메모리 소자 구조와 동작에 대한 모식도를 〈그림 3〉에 나타내었다. 앞으로 상변화 재료는 간단하게 그 대표격인 GST로 표시한다. 〈그림 3〉의 구조를 머쉬룸(mushroom) 타입 소자라 부른다. 이 구조에서는 상부 금속 전극(TE, top electrode)은 GST와 폭이 같으며, GST 하부의 히터(heater)는 GST보다 훨씬 작은 폭을 갖는다. 히터 아래에는 하부 금속 전극(BE, bottom electrode)이 있다. 히터는 TiN, W 등의 내화물 금속(refractory metal)을 사용한다.

상부 전극에 리셋(reset) 전압 또는 전류가 인가되면 히터 계면 인근의 GST에서 높은 전류밀도와 비저항으로 인하여 가장 많은 열이 발생된다. 결정질이든 비정질이든 GST의 비저항은 금속 히터의 1/1000 이하이다. 이러한 이유로 그림과 같이 반구 형태의 영역이 녹은 후 급냉되어 비정질 반구(amorphous dome)가 된다. 〈그림 3〉의 리셋 상태의 TEM 이미지를 보면 모식도와 같이 비정질 반구가 관찰된다. 이 때문에 머쉬룸 타입 소자라 불린다. 반대로 셋(set) 전압 또는 전류가 인가되면, 비정질 반구 영역은 결정화되어 사라진다.

GST는 증착 직후에는 비정질이지만, 일반적으로 어닐링 공정을 통해 전체적으로 결정화시켜 놓는다. 비정질 반구는 소자의 TE, BE 사이의 전류가 흐르는 길을 막아버리는 역할을 한다. 따라서, 셋 상태는 TE, BE 사이에 전류가 흐를 수 있어 1 상태이고, 리셋 상태는 0 상태이다.

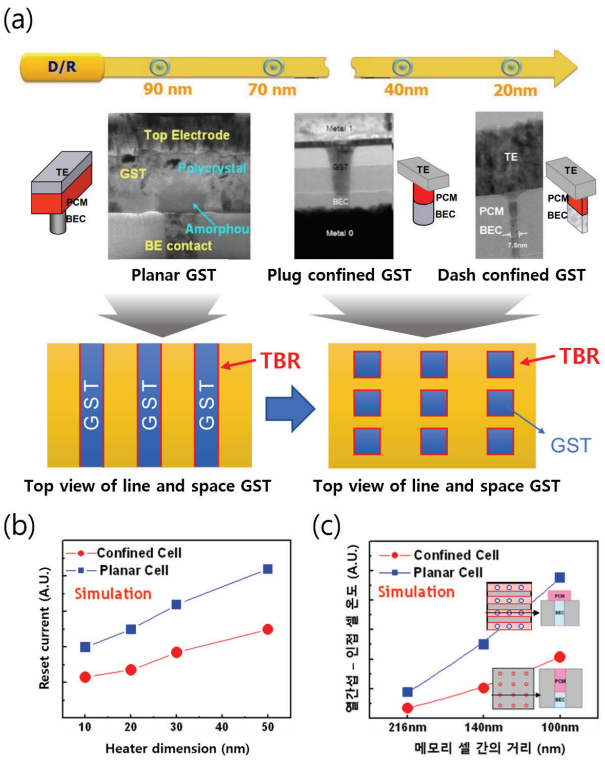
머쉬룸 타입 소자는 다른 명칭으로는 히터 기반 구조(heater-based architecture)라고도 한다. 이는 히터에서 열을 발생시켜서 GST에 전달한다는 의미인데, 정확한 명칭은 아니다. 앞서 설명하였듯 발열량은 히터 계면 근처의 GST 내부에서 가장 많다. 히터의 역할은 전류 밀도를 높게 만들어 주는 것일 뿐이다. 머쉬룹 타입 소자

에 대비되는 소자 구조는 셀프 히팅 구조(self-heating architecture)이다. 이 경우는 히터가 없고, TE-GST-BE 구조이며, GST를 좁고 길게 형성하여 전류밀도를 높이고, 이를 통하여 TE, BE보다 비저항이 훨씬 큰 GST 내에서 발열되어 자기 자신을 녹이는 구조이다. 셀프 히팅 구조는 많은 경우 TE, GST, BE 모두 같은 XY 디멘션을 가지며, 따라서, 셀프 얼라인드(self-aligned) 구조라고도 불린다. 일반적으로 머쉬룸 구조에 비하여 셀프 히팅 구조가 발생된 열이 거의 온전히 GST를 녹이는데 사용되므로 에너지 효율이 높지만, 공정 난이도가 높다. 따라서, 머쉬룸 구조가 먼저 개발되었으며, 후에 셀프 히팅 구조로 진화하였다. 이에 대해서는 다음 장에서 자세히 다루도록 한다.

Ⅳ. 상변화메모리 개발의 역사

산업계에서는 2000년대 초반부터 상변화메모리 개발을 진행하였다. 상변화메모리는 수십~수백나노 초의 동작 속도를 가져 플래시메모리보다 빠르고, 소자 구조가 간단하여 $4F^2$ 셀을 구현할 수 있어서 DRAM보다 더 높은 용량을 구현할 수 있다. 또한, 백만 번 이상의 쓰고 지우기가 가능하며, 이는 플래시메모리의 천 배에 해당된다. 이러한 이유로 2000년대에는 스케일링에 한계를 보이던 노어플래시메모리 대체 목표로 개발이 진행되었다. 2010년대에는 DRAM으로 구성된 메인 메모리와 낸드플래시메모리로 구성된 스토리지 간의 속도 차로 인한 데이터 병목 현상을 해결하기 위해 스토리지 클래스 메모리(SCM, storage class memory) 용도로 개발이 진행되었으며, 인텔이 2015년에 출시했던 옵테인(Optane) 메모리도 이에 해당된다. 이제부터는 산업계에서 개발했던 메모리 소자 기술들 및 제품화에 대하여 알아보자.

〈그림 4〉는 소자 기술의 진화를 보여준다 [3]. 대략 60나노미터급까지의 상변화메모리 소자는 머쉬룸 타입이며, 하나의 단위소자는 원통형 플러그 히터, GST, 상부 전극으로 이루어져 있다 [4]. 스케일링의 핵심이 되는 부분은 히터와 GST의 접촉 면적이다. 접촉 면적이 작을수록 전류밀도를 크게 만들 수 있어서 발열을 효과적으로



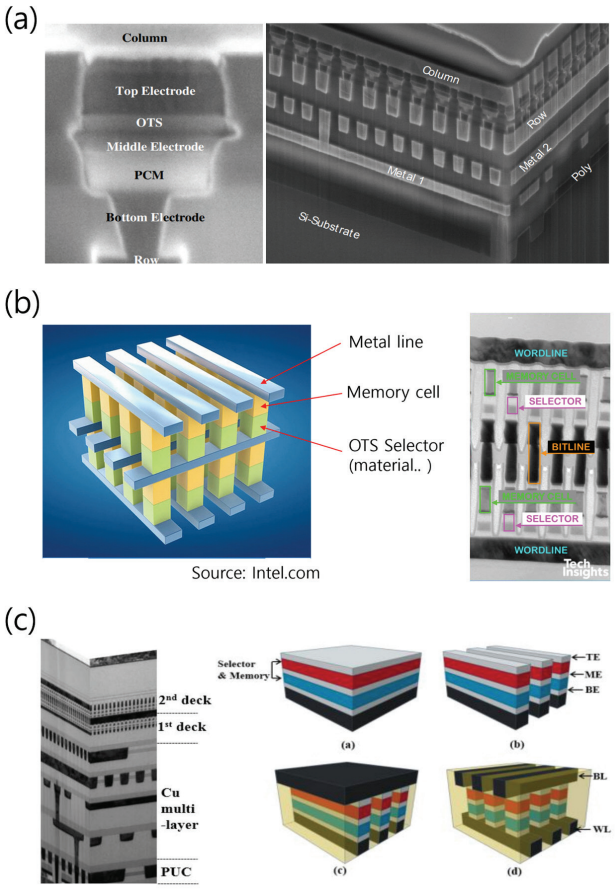
〈그림 4〉 상변화메모리 스케일링: (a) 기술 노드에 따른 셀 구조의 변화, 소자 스케일링에 의한 (b) 리셋 전류 감소와 (c) 셀 간의 열 간섭 심화

할 수 있어 리셋 전류를 줄일 수 있다. 개발 초기에는 완전히 채워진 원통형 히터를 사용하였으나, 나중에는 나노홀의 벽면에만 증착한 Ring 히터를 사용하여 접촉면적을 크게 줄였다. 히터의 지름은 60나노급 소자의 경우 40나노미터 내외이다.

초기에는 GST를 평면에 증착하고, 이를 식각하여 라인 패턴을 만들었다. 이를 Planar Cell이라 한다. GST의 라인은 비트라인(bit line)과 같은 방향이다. 이 경우 두 가지의 단점이 존재한다. 첫째, 건식 식각(dry etch)에 의하여 GST 층의 손상, 불순물에 의한 오염 문제가 생겨 소자 특성 저하, 산포(variability) 확대, 불량 소자 등이 발생한다. 둘째, 비트라인 방향에 인접해 있는 셀 간의 열 간섭이 심각하게 일어난다. GST와 다른 물질의 계면에는 계면열저항(TBR, thermal boundary resistance)가 존재하여 열전달을 방해하게 된다. 〈그림 4〉에 보이듯이 비트라인 방향으로는 TBR이 존재하지 않아 열이 더 잘 전달되게 된다.

이후 GST가 식각되는 것을 피하고, 열 간섭을 줄이기

면서도 또한 리셋 전류도 줄이기 위하여 TBR 효과를 더 높이는 Confined GST 기반의 셀프 히팅 구조를 개발하였다. 삼성전자에서는 2007년 VLSI 심포지엄에서 Plug Confined 구조를 선보인다 [5]. 먼저, 히터층 위에 절연체층을 증착하고, 이를 식각하여 나노홀(nano hole)을 만든 후, 여기에 GST를 증착하여 트렌치나 홀을 채우고, 그 다음 CMP(chemical mechanical polishing 또는 planarization)를 거친 후, 그 위에 상부전극을 올려서 소자를 완성하였다. 〈그림 4(a)〉의 두 번째 그림이 이에 해당된다. 그 후로 X, Y 방향 중 한 방향을 매우 작게 줄인 Dash Confined로 진화하였으며, 이 구조로 2011년 IEDM에서 20나노미터급 소자를 발표하였다 [6,7]. Dash 타입은 트렌치의 양쪽 벽면에 증착한 후, 이를 다시 패터닝하여 만들 수 있다. 〈그림 4〉(b)와 (c)에서 볼 수 있듯이, Confined GST 구조는 TBR 효과를 높여서 리셋 전류와 열 간섭을 모두 개선할 수 있다.

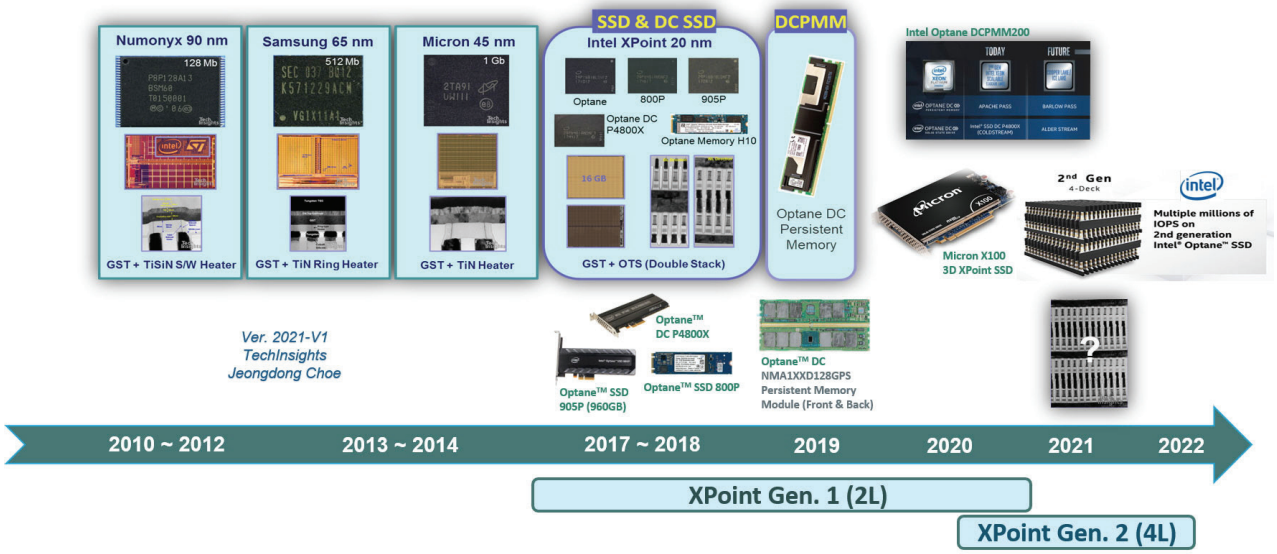


〈그림 5〉 반복 적층 가능한 메모리 노드와 OTS 셀렉터 기술: (a) 인텔과 뉴모닉에서 2009년에 발표한 GST/OTS 메모리 셀 및 메모리 어레이 [8], (b) 인텔과 마이크론에서 2015년에 발표한 3D 크로스포인트 메모리 [9], (c) SK 하이닉스에서 2018년에 발표한 더블덱 GST/OTS 메모리 어레이 [10]

〈그림 5〉는 삼성전자 외의 다른 회사들에서 개발한 소자를 보여준다. 〈그림 5(a)〉는 2009년 인텔과 뉴모닉(훗날 Mircon에 인수됨)에서 IEDM에 발표한 OTS(Ovonic threshold switch) 선택 소자를 채용하여 반복 적층이 가능하게 된 기술을 보여준다 [8]. 앞에서 보인 모든 상변화 메모리 기술은 선택소자로 실리콘 에피 다이오드를 사용한다. 실리콘 에피 다이오드는 반복 적층이 불가능한 반면, 칼코제나이드 물질을 기반으로 하는 OTS 소자는 반복적층이 가능하다. 〈그림 5(b)〉는 2015년에 인텔과 마이크론이 공동으로 개발하여 발표한 3D 크로스포인트 메모리이다 [9]. 〈그림 5(c)〉는 2018년 IEDM에서 발표한 SK 하이닉스의 상변화메모리이며, OTS/GST 셀로 메모리 어레이를 더블덱으로 구성하였다 [10]. 대표적인 GST 소자 아키텍쳐에 대한 설명은 Micron에서 2014년 IEDM에 발표한 논문에 잘 나와 있다 [11].

〈그림 6〉은 상변화메모리의 제품화 역사를 보여준다 [12]. 그림에서 보이는 Micron 45 nm 제품까지는 시제품이었으며, 인텔에서는 2015년에 발표한 3D Cross Point 소자 기술을 기반으로 2017년부터 Optane Memory라는 상품명으로 소비자 판매를 시작했다. 스토리지 클래스 메모리(SCM, storage class memory) 용도였으며, 소비자용, 서버용 제품들이 출시되었으나, 시장 안착이 성공적이지 못하였고, 현재는 사업화를 멈춘 것으로 알려져 있다.

상변화메모리의 문제점은 발열을 이용하다보니, 메모리 셀 간의 열 간섭 문제가 크고, 쓰고 지울 수 있는 횟수가 수백만~수억번($10^{6\sim8}$) 정도로 플래시메모리보다는 천 배 이상이지만, DRAM의 10^{15}번에 비해서는 턱없이 부족하다는 점이다. 이로 인하여 발열을 이용하는 것이 아닌 전기장에 의한 스위칭을 할 수 있는 상변화재료에 대한 관심이 매우 높다. 2011년에 일본 AIST에서는 GeTe(GT)/Sb_2Te_3(ST)를 반복 적층한 초격자 물질을 사용한 i-PCM 기술을 발표하였다 [13]. 이것은 Ge, Sb, Te가 고르게 분포하고 있는 GST와 달리 GT와 ST 박막을 1~3nm 정도 이하의 두께로 반복 적층한다. 이 소자는



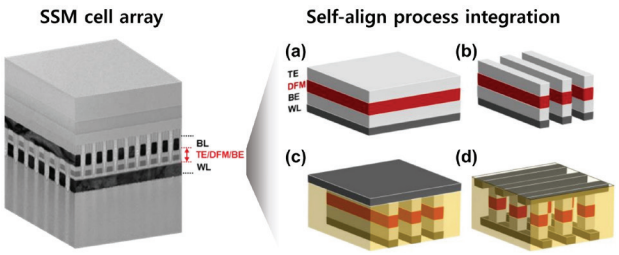
〈그림 6〉 상변화메모리 칩 개발의 역사 [12]

일반적인 GST 소자에 비해 절반의 리셋 전류, 그리고 쓰기 횟수는 10배 향상되는 것으로 보고 되었다. 초격자 물질에서 높은 저항, 낮은 저항 상태 사이의 스위칭은 전기장 기반이라 주장하였지만, 후속 연구에서는 여전히 발열 기반이며 GT, ST 계면 사이의 TBR이 반복적으로 적층되어 있어 열 효율이 매우 높은 것이라는 반론도 제시되었다. 2011년 최초 논문 발표 이후, 상변화 재료 연구자들의 대부분이 초격자 물질 연구에 뛰어들었으나, 현재는 약간 소강상태인 것으로 보인다.

2022년 IEDM, 그리고 2023년 VLSI 심포지엄에서 SK 하이닉스는 〈그림 7〉과 같이 SOM (selector only memory) 또는 SSM (self-selecting memory)를 발표하였다 [14,15]. 2022년에는 두 층으로, 2023년에는 네 층을 적층하였다. 이전 소자들은 모두 저항 변화 부위, 즉, 정보 저장 부위(storage node)인 GST와 선택 소자 OTS를 따로 만들어 집적하였다. 이로 인하여 공정도 복잡하게 되고, GST에서 발생한 열이 인접 GST 셀 뿐만 아니라, OTS에도 영향을 주게 되는 문제가 있었다. SSM에서는 Dual Function Material(DFM)이라는 새로운 칼코제나이드 물질을 채용하였다. 여기서 듀얼 펑션은 메모리 기능과 셀렉터 기능을 의미한다. 이 물질의 스위칭 메커니즘은 아직 완전히 밝혀지지 않았으며, 앞으로의 상용화를 위해서는 관련된 재료, 공정, 소자, 신뢰성 등에 대한 많은 연구가 필요한 것으로 예상된다.

V. 전망과 결론

인공지능과 같이 대량의 데이터를 필요로 하는 기술 수요가 폭발적으로 증가하고 있기 때문에 메모리 용량 및 속도 증대, 소모 전력 감소를 모두 이루면서도 경제성 확보 가능한 기술 개발이 필요하다. 이를 위하여 기존에 집중하던 스케일링 한계 극복 뿐 아니라, 뉴로모픽(neuromorphic) 및 인메모리(in-memory) 컴퓨팅과 같은 신개념 기술 개발이 필요하다. 또한, 자동차, 항공우주, 군사용 등으로 메모리 반도체의 적용 범위가 넓어질 것이므로 고신뢰성 메모리 기술들을 개발해야 한다. 좀 더 구체적으로는 고온, 고압 등의 극한 환경과 방사선 조사에 견딜 수 있어야 한다. 상변화메모리는 상변화 재료



〈그림 7〉 SK Hynix에서 IEDM 2022에서 발표한 20나노미터급 Self-selecting memory (SSM) [14]

의 설계에 따라 다양한 응용처에 맞는 기술을 개발할 수 있는 가능성이 크게 열려 있다. 또한, 7.5nm 크기의 소자에서도 안정적인 동작이 검증된, 즉, 스케일링 가능성(scalability)가 입증된 소자이다. 따라서, 상변화 신소재 및 소자 등에 대한 지속적인 연구개발을 통하여 미래를 대비해야 한다.

참 고 문 헌

[1] Stanford R. Ovshinsky. “Reversible Switching Phenomena in Disordered Structures”, Phys. Rev. Lett. 20, 1450 (1968)

[2] Liang Sun et al. “Ab initio molecular dynamics and materials design for embedded phase-change memory”, npj Comput. Mater. 7, 29 (2021)

[3] 권용우, 안동호, 이근호, 박영관, “Thermal Properties of Phase-change Materials”, 2012년 한국열물성학회 학술대회

[4] J. H. Oh et al., "Full Integration of Highly Manufacturable 512Mb PRAM based on 90nm Technology," 2006 International Electron Devices Meeting, San Francisco, CA, USA, 2006, pp. 1-4

[5] J. I. Lee et al., "Highly Scalable Phase Change Memory with CVD GeSbTe for Sub 50nm Generation," 2007 IEEE Symposium on VLSI Technology, Kyoto, Japan, 2007, pp. 102-103

[6] D. H. Im et al., "A unified 7.5nm dash-type confined cell for high performance PRAM device," 2008 IEEE International Electron Devices Meeting, San Francisco, CA, USA, 2008, pp. 1-4

[7] M. J. Kang et al., "PRAM cell technology and characterization in 20nm node size," 2011 International Electron Devices Meeting, Washington, DC, USA, 2011, pp. 3.1.1-3.1.4

[8] D. Kau et al., "A stackable cross point Phase Change Memory," 2009 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), Baltimore, MD, USA, 2009, pp. 1-4

[9] Intel Press Room. Jul. 28, 2015. https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/intel-micron-3d-xpoint-webcast.html

[10] T. Kim et al., "High-performance, cost-effective 2z nm two-deck cross-point memory integrated by self-align scheme for 128 Gb SCM," 2018 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, CA, USA, 2018, pp. 37.1.1-37.1.4

[11] M. Boniardi et al., "Optimization metrics for Phase Change Memory (PCM) cell architectures," 2014 IEEE International Electron Devices Meeting, San Francisco, CA, USA, 2014, pp. 29.1.1-29.1.4

[12] Techinsights.com, Apr. 30, 2021. https://www.techinsights.com/blog/memory/intels-2nd-generation-xpoint-memory

[13] R. E. Simpson et al., “Interfacial phase-change memory”, Nature Nanotech. 6, 501 (2011)

[14] S. Hong et al., "Extremely high performance, high density 20nm self-selecting cross-point memory for Compute Express Link," 2022 International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, CA, USA, 2022, pp. 18.6.1-18.6.4

[15] J. Yi et al., "The chalcogenide-based memory technology continues: beyond 20nm 4-deck 256Gb cross-point memory," 2023 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Technology and Circuits), Kyoto, Japan, 2023, pp. 1-2

[16] SK 하이닉스 뉴스룸. https://news.skhynix.co.kr/post/rtc-3dxp-and-som

권용우

• 2000년 8월 서울대학교 재료공학부, 학사
• 2007년 6월 노스웨스턴대학교 재료공학과, 박사
• 2007년 8월 ~ 2013년 2월 삼성전자 반도체연구소
• 2013년 3월 ~ 현재 홍익대학교 신소재공학과

〈관심 분야〉
상변화 및 저항메모리 소자 시뮬레이션, 박막재료 미세구조 시뮬레이션

FeRAM의 발전과 응용

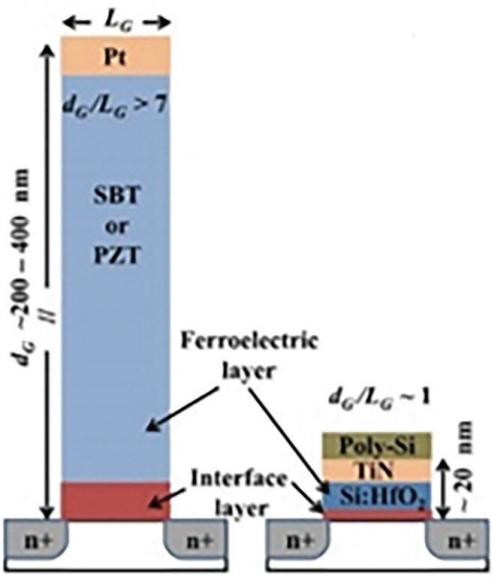
Ⅰ. 서 론

최근 몇 십 년 동안, 디지털 기술의 급격한 발전과 인터넷의 보급으로 인해 우리의 일상생활은 디지털화되었다. 이러한 디지털화로 PC뿐만 아니라 스마트폰, 태블릿, 스마트워치 및 다양한 휴대용 전자 기기들이 대중화되었으며, 이러한 기기들은 우리의 생활 및 업무에서 더욱 중요한 역할을 하고 있다.

이러한 현대 전자 기기 중 핵심 기술 중 하나는 읽고 쓸 수 있는 메모리 기술이다. 메모리 기술은 데이터의 저장 및 액세스에 필수적이며, 디지털 세상에서의 모든 정보 및 기능을 제어하는 핵심 역할을 한다. 일반적으로 DRAM및 NAND 플래시와 같은 전통적인 메모리 유형이 많이 사용되지만, 특정 산업 분야에서는 메모리의 목적과 요구 사항에 따라 FeRAM, SRAM, EEPROM, NOR 플래시와 같은 다양한 종류의 메모리 소자가 사용된다.

다양한 종류의 메모리 중에서 FeRAM은 현재 비휘발성 메모리 시장에서 큰 부분을 차지하고 있는 플래시 메모리에 비해 빠른 속도와 낮은 전력 소모로 큰 주목을 받고 있다. FeRAM은 강유전체 특성을 가진 특정 물질을 사용하여 데이터를 저장하고 액세스하는 기술로, 1950년대에 페로브스카이트 물질에서 특정 전기장을 가해 분자 구조를 변화시켜 분극 상태를 기억하는 강유전체 특성이 발견되었으며 1952년도에 처음으로 1개의 트랜지스터에 1개의 커패시터가 연결된 형태의 FeRAM이 제안되었다. 그 후, 1970~80년대를 통해서 더욱 다양한 페로브스카이트 기반의 강유전체 물질들이 발견되면서 여러 물성에 관한 광범위한 연구를 통해 강유전체의 물성과 동작 원리에 대한 이론 확립이 되었으며 여러 제조 기술들을 통해서 압전 소자, 적외선 센서, 마이크로파 소자 등 다양한 소자에 적용한 연구가 진행되었다. 1990년대 페로브스카

권대웅
한양대학교



〈그림 1〉 페로브스카이트 기반 강유전체의 스케일링 다운 한계

이트 물질 기반으로 한 FeRAM이 Ramtron, Fujitus 등 산업체에서 상용화되기 시작하며 FeRAM은 다른 비휘발성 메모리 소자와 달리 낮은 쓰기 및 읽기 전압, 낮은 전력 소모를 목적으로 하는 특정 시장에서 자리를 잡게 되었다.

그러나 FeRAM은 일정 두께 이하로 얇아지면 강유전체 특성을 잃어버리는 한계로 인해 2000년대 후반까지 ~130 nm 노드 수준에 머물러 발전에 한계가 있었다. 이러한 문제는 메모리 기술의 진보와 무어의 법칙에 따라 메모리 집적도 증가를 위해 스케일링 다운되며 발전해야 하는 요구에 제동을 걸었다. 그러나 2006년에 독일의 반도체 제조사인 QiMonda에서 플루오라이트 구조 산화물인 Hafnia 기반 물질에서 강유전체 특성을 발견하고 2011년에 최초로 Hafnia 기반의 강유전체에 대한 논문을 보고하였다[1]. Hafnia 기반 강유전체 물질은 10 nm 이하의 두께에서도 강유전체 특성을 가질 수 있음을 보이며 기존의 페로브스카이트 기반 강유전체 물질의 한계점을 극복할 수 있게 되었으며, 특히 기존의 CMOS 공정과 호환성이 우수하다는 점으로 인하여 강유전체 연구는 다시금 급속도로 진행되었다〈그림 1〉. 현재까지 다양한 Hafnia 기반 강유전체 물질의 발견 및 특성 개선이 지속적으로 연구되고 있으며, FeRAM은 다시금 사물인터넷 시대에서 메모리 기술의 주요 주목 대상 중 하나로 부상하였다

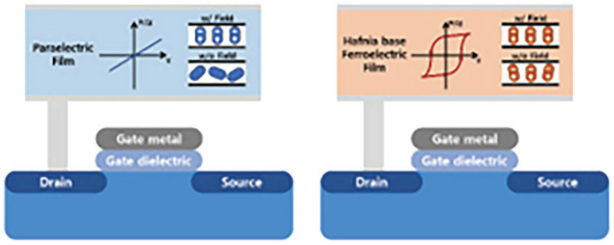
Ⅱ. FeRAM의 구조 및 동작 원리

FeRAM은 DRAM과 마찬가지로 1T-1C 구조, 즉 1개의 트랜지스터와 1개의 커패시터로 이루어진 구조를 가지고 있다〈그림 2〉. 하지만 DRAM과는 다르게 커패시터의 절연막에 유전체 대신 강유전체를 적용하여 임계전압 이상의 전압을 가하면 분극으로 데이터가 저장되며 이후에 전원공급이 끊어져도 이력 현상에 의해 잔류 분극의 형태로 데이터가 남아 있어 비휘발성 메모리로서 동작할 수 있다

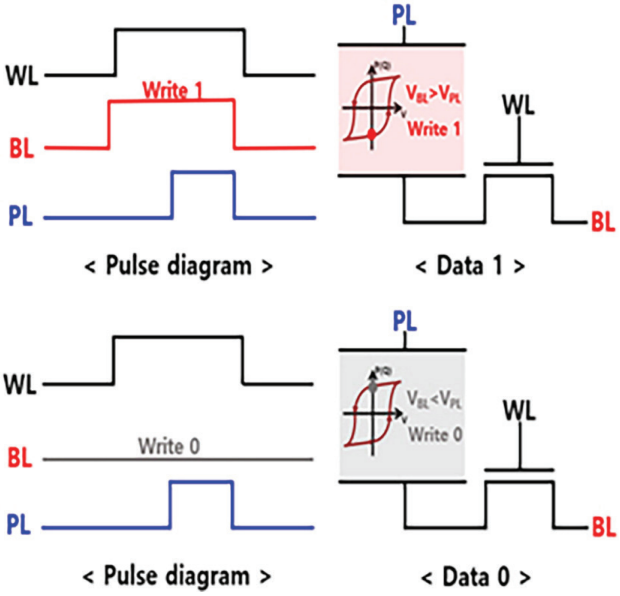
FeRAM의 동작 또한 DRAM과 유사하다. 핵심 메모리 동작으로 '읽기 동작'과 '쓰기 동작'이 있는데 쓰기 동작부터 먼저 살펴보겠다〈그림 3〉. 쓰기 동작은 커패시터의 상부전극과 하부전극 사이에 전압 차이를 발생시켜 강유전체 물질의 분극 상태를 바꿔 데이터 '1' 또는 '0'을 저장하게 되며 이는 bit line (BL)과 plate line (PL)의 전압 차이 조절을 통해 구현된다. 우선 BL의 전압을 커패시터의 하부전극에 전달하기 위해 word line (WL)에 전압을 인가하여 트랜지스터를 액티브 상태로 만든 후 BL에 V_{DD}를 가해주고 PL을 그라운드 상태(0 V)로 유지해주면 하부전극에 임계전압 이상의 전압이 가해지며 강유전체가 음의 분극 상태로 전환되고 데이터 '1'이 저장이 된다. 반대로 BL을 그라운드 상태로 유지해주고 PL에 V_{DD}를 인가하면 상부전극에 임계전압 이상의 전압이 가해지며 양의 분극 상태로 전환되고 데이터 '0'이 저장이 된다. 이후 전원이 차단되고 남아 있는 전하가 누설전류 형태로 빠져나가더라도 분극 형태로 저장된 데이터 '1' 또는 '0' 이 보존되게 된다.

읽기 동작은 트랜지스터가 액티브 상태에서 상부 전극 PL에 임계전압 이상의 전압을 가해줬을 때 변화하는 BL 전압 (ΔV_{BL})의 차이를 감지함으로써 이뤄진다.

PL에 임계전압 이상의 전압을 가해줄 경우 강유전체의 분극 상태에 따라 다른 정전용량 (CFE)를 갖게 되며 그에 따라 다른 전하량을 유도하게 된다. 그림 4의

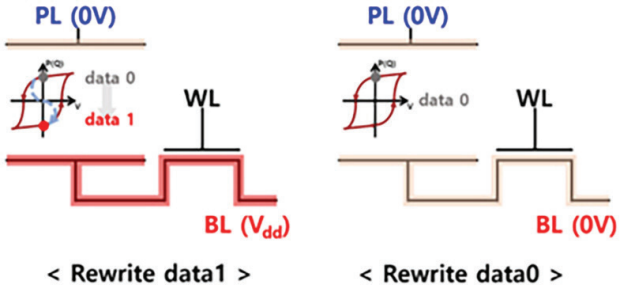


〈그림 2〉 1T-1C 구조를 갖는 DRAM(좌측)과 FeRAM(우측)의 구조



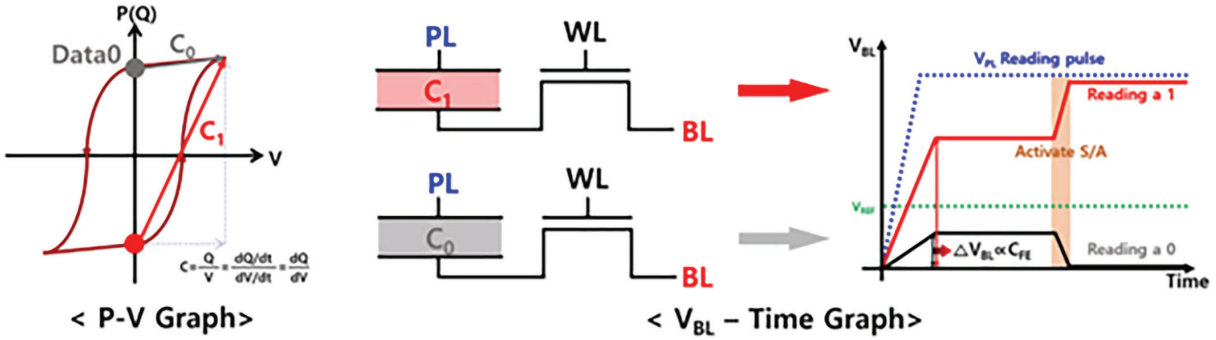
〈그림 3〉 FeRAM 의 쓰기 동작

polarization-voltage (P-V) 곡선에서 볼 수 있듯이 음의 분극 상태를 가지고 있는 데이터 '1'의 경우 큰 CFE를 보이게 되고 이에 따라 큰 ΔV_{BL}를 가지게 된다. 반대로 양의 분극 상태를 가지고 있는 데이터 '0'의 경우 분극 전환이 일어나지 않아 작은 CFE를 가지며 ΔV_{BL}의 변화도 작다. 이처럼 저장된 데이터 상태에 따라 다르게 변화된 V_{BL} 값은 Sense Amplifier(S/A)에서 기준 전압 (VREF)와의 비교를 통해 각각 V_{DD}(데이터 1)/GND(데이터 0)로 증폭되고 이를 읽음으로써 저장된 '1' 또는 '0'을 구분할 수 있다.



〈그림 5〉 FeRAM 의 다시 쓰기 과정

FeRAM은 읽기 동작 과정에서 상부 전극에 임계전압 이상 양의 전압을 가하기 때문에 저장된 데이터가 모두 0으로 변하게 되는 파괴적인 읽기 특성을 가지고 있다는 문제점이 있다. 따라서 읽기 동작 이전에 각 셀에 저장되었던 데이터로 복원해주는 다시 쓰기 동작이 추가로 필요한데, 이는 S/A 회로를 이용하여 추가 동작 없이 해결할 수 있다. 읽기 과정이 끝난 후 트랜지스터를 끄지 않고 PL을 그라운드 상태로 바꿔주면 데이터 '1'이 저장되었던 경우 V_{BL}은 S/A에 의해 V_{DD}로 증폭된 상태이므로 하부전극에 임계전압 이상의 전압이 가해져 강유전체가 음의 분극 상태로 전환되며 다시 데이터 '1'이 저장되게 되고, 데이터 '0'이 저장되었던 경우 V_{BL}이 S/A에 의해 그라운드 상태가 되어 커패시터 상하부 전극의 전압 차가 생기지 않아 데이터 '0'인 상태 그대로 유지되게 된다〈그림 5〉. FeRAM은 위와 같은 과정을 거쳐 읽기 동작 이후 다

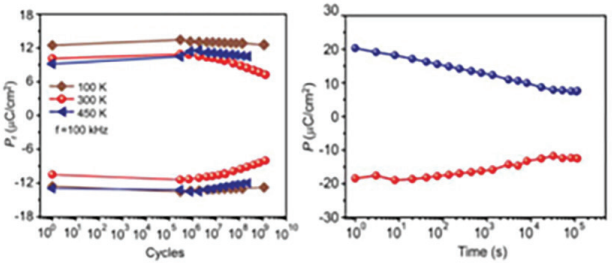


〈그림 4〉

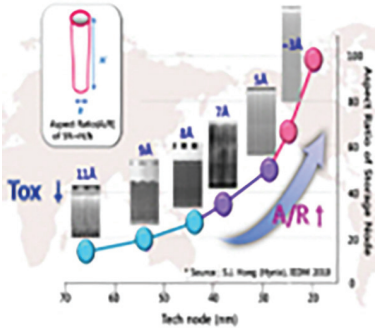
시 쓰기 과정까지 마쳐 원하는 데이터 저장 상태를 유지하며 메모리 기능을 수행하게 된다.

III. FeRAM 연구동향

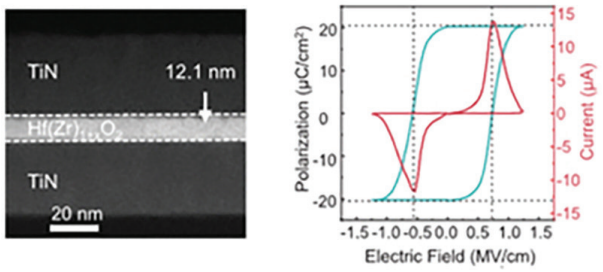
FeRAM은 Hafnia기반 강유전체 물질을 DRAM의 1T-1C 구조에 적용하여 비휘발성 메모리 동작을 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 Hafnia 기반 강유전체의 물성에 의한 문제점과 1T-1C 구조에서 야기되는 스케일링 다운 한계에 대한 단점을 모두 가지고 있다. 우선 강유전체 물질의 경우 기존 DRAM의 커페시터에서 전하 저장 매체로 사용되는 유전체와 달리 쓰기/읽기 동작 모두에서 분극 전환이 이뤄짐에 따라 박막이 심각한 전기적 스트레스를 받게 되며 이로 인해 기존 DRAM에 비해 열화현상 (인듀어런스 특성)이 악화된다[2]. 그뿐만 아니라 비휘발성 메모리로써 사용되기 위한 전원 제거 시 정보 유지 특성 (리텐션 특성)도 중요한데, 강유전체 물질에서 낮은 동작 전압과 리텐션 특성[2]은 트레이드 오프 관계를 가져 낮은 동작 전압을 가지며 리텐션 특성이 우수한 강유전체 박막을 개발하기가 어렵다〈그림 6〉. 또한, 구조적



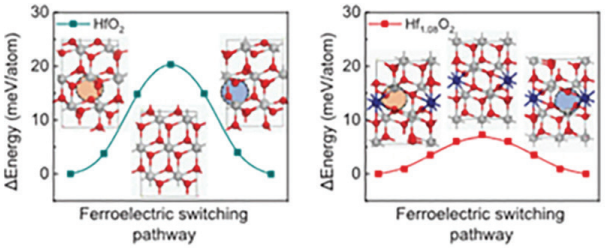
〈그림 6〉 강유전체 물질의 열화 및 정보 유지 문제점



〈그림 7〉 1T-1C 구조의 한계



〈그림 8〉 o-phase와 r-phase를 갖는 HfO_2의 분극 전환 에너지 배리어 비교



〈그림 9〉 r-phase 강유전체의 TEM 단면 이미지와 P-V 곡선

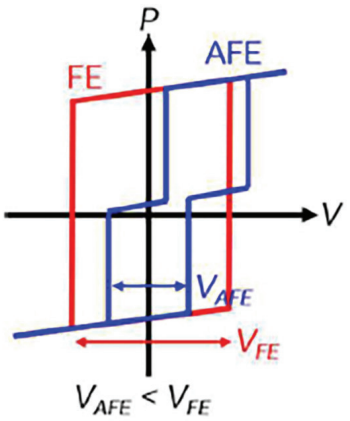
인 측면에서는 1T-1C 구조에서 정전용량의 감소를 최소화하기 위해 셀 커패시터의 수직 높이를 높여가며 고집적화가 이뤄져 왔으나 이에 따라 급격한 종횡비 증가로 인한 공정 난도가 매우 높아져 물리적인 한계에 도달하였다[3] 〈그림 7〉. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 강유전체 박막 특성 개선 및 높은 메모리 집적도를 가질 수 있는 새로운 구조에 대한 연구가 진행되고 있으며 그 중 대표적인 3가지 방향에 대해 살펴보기로 한다.

1. Hafnia 기반 강유전체 물질 연구

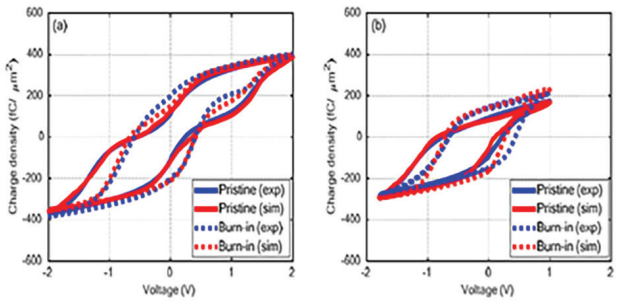
첫번째로 강유전체 물성에 관한 연구이다. 1T-1C 구조를 갖는 FeRAM에서 트랜지스터에 관한 연구는 충분히 이뤄진 상태이므로 강유전체의 물성에 관한 연구를 통해 커패시터를 개선하는 방법이 활발하게 이뤄지고 있다. 강유전체 물질에 관한 연구는 완벽한 CMOS 공정 호환성을 가지며 두께 스케일링 다운이 가능한 hafnia 기반 강유전체 물질에 집중되고 있다. 특히 낮은 결정화 온도를 가지며 강유전성 형성 공정이 용이한$Hf_xZr_{(1-x)}O_2$ (HZO) 강유전체 물질에 대한 연구가 주를 이룬다. Hafnia 기반의 강유전체 물질의 강유전성은 열처리에 의한 orthorhombic phase(o-phase)의 형성으로부터 기

인하는 것으로 알려져 있다. 하지만, 이러한 Hafnia 기반 강유전체 물질의 분극 상태 변화에 필요한 전압은 (coercive voltage: Vc) 박막의 항복 전압 (breakdown 전압)의 60% 수준으로 쓰기/읽기 동작 중 발생하는 분극 전환에 의해 심각한 열화가 발생한다. 이를 극복하기 위해 최근 rhombohedral phase(r-phase)를 갖는 HZO 강유전체의 개발이 보고되었다[4]. Hf(Zr)-rich HZO 박막에서 r-phase 강유전성이 발견되었고 이는 기존의 o-phase를 갖는 강유전체에 비해 분극 전환에 필요한 에너지가 적어 낮은 임계전압을 갖음을 보여주었다〈그림 8-9〉. 따라서 Vc가 항복 전압의 20% 수준으로 감소함으로 인하여 열화 특성이 개선되었으며 (Perovskite 강유전체에 버금가는 인듀어런스 특성 확보 가능할 것으로 예상) 추가로 o-phase HZO 강유전체 대비 낮은 누설전류, 높은 항복 전기장, 개선된 정보 유지 특성 (리텐션 특성)을 가짐을 실험적으로 검증하였다.

이는 Hafnia 기반 강유전체가 고성능, 고신뢰성, 저전력 FeRAM을 구현하기에는 높은 임계전압을 갖는다는 단점을 극복할 가능성을 보여준 예시이다. 하지만 보고된 r-phase HZO 강유전체는 스퍼터링 공정을 이용 12 nm 수준의 두께를 가지고 있어 추가 두께 스케일링 다운이 필요하며, 높은 종횡비를 가지는 커패시터 구조에 적용하기 위해 atomic layer deposition (ALD) 공정을 통해 Hf, Zr 과다 상태의 r-phase HZO 강유전체를 잔존 불순물이 없는 상태로 증착 할 수 있는 새로운 공정 개발이 시급히 필요하다. 이러한 phase 변환을 이용한 구동 전압 감소 이외에도 인듀런스, 리텐션, 분극 전환 속도 개선, 웨이크업 및 열화 현상개선 등 여러 방면에서 FeRAM의 성능 개선을 위해 Hfnia 기반 강유전체 물성 개선을 위한 연구가 진행되고 있다[5-8]



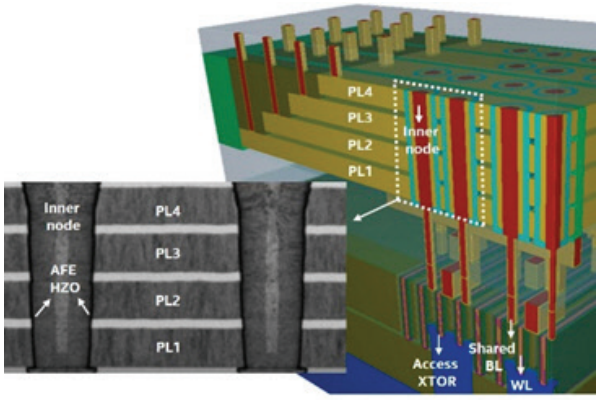
〈그림 10〉 강유전체와 평행 이동된 반강유전체의 P-V 곡선



〈그림 11〉 평행 이동된 반강유전체의 P-V 곡선(왼쪽)과 반쪽 루프만 사용했을 때의 P-V 곡선 (오른쪽)

2. 반강유전체 물질을 이용한 커패시터 연구

두번째로 강유전체를 사용한 커패시터가 아닌 반강유전체(Antiferroelectric) 물질을 사용한 커패시터를 이용하는 방법이다[9-10]. 반강유전체 물질은 강유전체 물질과 다른 P-V 곡선을 가진다. 외부 전기장이 가해졌을 때는 강유전체 물질과 같이 분극을 나타내지만, 외부 전기장이 사라지면 분극도 사라지게 된다. 하지만 〈그림10〉와 같이 P-V 곡선이 한쪽 방향으로 평행 이동되어 있다면 0V에서 잔류 분극을 갖게 된다. 따라서 전체 루프를 사용하는 것이 아니라 반쪽 루프만 사용함으로써 강유전체 커패시터와 같은 분극 특성을 나타낼 수 있다〈그림 11〉. 이러한 방법을 사용할 경우 P-V 곡선의 반만 사용하기 때



〈그림 12〉 수직 적층 구조의 1T-4C 구조의 FeRAM 단면 TEM 및 모식도

문에 V_C도 절반으로 줄어 효과적으로 인듀어런스 특성을 개선할 수 있지만 동시에 잔류 분극도 절반으로 감소하게 되므로 읽기 동작 시 분극 변화에 의한 BL의 전압 변화가 작아지게 되어 센싱 마진이 줄어들고 이로 인해 저장된 데이터의 구분이 어려워지게 된다. 또한, 전기적 스트레스에 의한 박막 내 전하 포획 현상으로 P-V 곡선의 평행 이동 정도가 변하게 되면 비대칭적인 P-V 곡선을 가지거나 0V에서 잔류 분극을 가질 수 없는 단점을 가지고 있다.

3. 1T-nC 구조의 FeRAM 연구

세번째로 1T-1C 구조가 아닌 1T-nC 구조를 차용하는 방법이다[10]. 현재 1T-1C 구조에서는 급격한 커패시터 종횡비 증가로 더이상 스케일링 다운이 힘든 상황이다. 디바이스의 스케일링 다운 한계 극복을 위해 1개의 트랜지스터에 여러 개의 커패시터를 수직 적층 구조로 쌓아 올린 뒤 병렬로 연결하여 커패시터들을 각각 컨트롤함으로써 같은 면적에서 메모리 비트 수를 높이는 방법이다. 이때 각각의 커패시터가 1비트의 메모리 역할을 수행할 수 있으므로 〈그림12〉과 같이 4단으로 쌓으면 1T-1C 구조가 4개 있는 것과 같은 동작을 할 수 있으나 면적은 1T-1C 1개와 거의 유사하므로 메모리 밀도가 높아지게 된다. 그러나 1T-nC 구조는 기존 1T-1C 구조 커패시터 대비 커패시터의 면적이 작아지게 됨에 따라 강유전체 분극 상태 변화에 의해 유도되는 절대적인 전하량이 감소하는 단점을 가지고 있다. 읽기 동작 중 분극 상태 변화에 의해 유도되는 전하량 (ΔQ)에 의해 변화한 ΔV_{BL}를 감지함으로써 저장된 데이터의 상태를 ('0' 혹은 '1') 구분할 수 있는데 BL의 정전용량이 FeRAM의 커패시터가 가지는 정전용량에 비해 상대적으로 매우 크기 때문에 커패시터의 면적이 줄어들 경우 ΔQ에 의해 변화하는 ΔV_{BL}는 매우 작아지게 되고 이를 읽기 위한 센싱 마진이 감소하여 오류가 발생할 확률이 높아진다. 그뿐만 아니라 3차원 구조에서 기인하는 공정 및 쓰기/읽기 동작 조건의 복잡성, 쓰기/읽기 동작 중 발생하는 간섭, 큰 RC delay가 해결되어야 할 숙제이며 특히 소자 구현 관점에서 각 층의 커패시터들을 개별 메모리로써 독립적으로 동작시키기 위해 각층의 PL에 개별적 컨택 형성이 필수적인데 〈그림 12〉와 같이 각 WL마다 컨택을 형성할 경우 컨택의 큰 면적을 고려할 때 실제 공정으로 고집적 메모리 어레이를 제작할 수 없다는 심각한 문제점을 가지고 있다.

IV. 전망 및 결론

FeRAM 기술은 재료 및 소자 관점에서 지속적으로 발전하고 있으며, 미래에는 다양한 산업 및 응용 분야에서 중요한 역할을 담당할 것으로 예상한다. 특히 사물인터넷 디바이스와 같이 저전력, 비휘발성 메모리가 필수 요소인 환경에서 FeRAM 사용이 급증할 것으로 예상한다.

또한, 휘발성 메모리인 DRAM을 대체하려는 노력이 최근 활발히 진행 중이다. DRAM은 쓰기/읽기 동작이 매우 빠르기에 현재 주메모리로 사용되고 있지만, 휘발성 메모리이기 때문에 지속적으로 refresh 동작이 필요하며 이에 따라 전력 소모도 커지게 된다. 하지만 FeRAM은 DRAM 수준의 동작 전압과 빠른 쓰기/읽기 동작 속도를 보이는 동시에 비휘발성 메모리로 동작이 가능하기 때문에 DRAM에 비해 적은 전력소모가 기대된다. 하지만 지금 당장은 FeRAM이 상용화되어 DRAM을 대체하기에는 성능과 신뢰성이 개선되어야 하고 검증되어야 할 부분들이 많아 임베디드 메모리, 임베디드 디램으로 상용화를 우선 목표로 하고 있다. 그렇지만 앞서 기술한 바와 같이 Hafnia 기반 FeRAM은 현재 여러 개선 방향에 관해 다양한 연구가 진행되고 있고 1T-nC와 같은 구조를 통해 현재의 DRAM보다 더 높은 밀도를 갖는 메모리로 개발될 가능성을 가지고 있기에 미래에 DRAM을 대체할 수 있는 기대 소자로서 우수한 평가를 받고 있다.

따라서, FeRAM 기술에 관한 연구와 개발은 지속적으로 확대되어야 하며 더 효율적인 데이터 저장 및 액세스 방법, 에너지 효율성의 향상, 초 고집적화를 위한 연구에 방향이 집중되어야 한다. 이러한 노력이 디지털 세상을 더욱 발전시킬 것이라 확신하며 강유전체 물질과 FeRAM에 대한 연구와 지원이 계속해서 확대되기를 기대한다.

참고문헌

[1] T. S. Böscke, J. Müller, D. Bräuhaus, U. Schröder, U. Böttger; Ferroelectricity in hafnium oxide thin films. Appl. Phys. Lett. 5 September 2011; 99 (10): 102903.

[2] T. Mikolajick, U. Schroeder and S. Slesazeck, "The Past, the Present, and the Future of Ferroelectric Memories," in IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 67, no. 4, pp. 1434–1443, April 2020, doi: 10.1109/TED.2020.2976148

[3] J. Choe, "Memory Technology 2021: Trends & Challenges," 2021 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD), Dallas, TX, USA, 2021, pp. 111–115, doi: 10.1109/SISPAD54002.2021.9592547.

[4] Yuan Wang et al., A stable rhombohedral phase in ferroelectric Hf(Zr)1+xO2 capacitor with ultralow coercive field. Science381,558–563(2023).

[5] J. Okuno et al., "High-Endurance and Low-Voltage operation of 1T1C FeRAM Arrays for Nonvolatile Memory Application," 2021 IEEE International Memory Workshop (IMW), Dresden, Germany, 2021, pp. 1–3.

[6] T. Francois et al., "16kbit HfO2:Si-based 1T-1C FeRAM Arrays Demonstrating High Performance Operation and Solder Reflow Compatibility," 2021 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, CA, USA, 2021, pp. 33.1.1–33.1.4.

[7] M. Sung et al., "Low Voltage and High Speed 1Xnm 1T1C FE-RAM with Ultra-Thin 5nm HZO," 2021 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, CA, USA, 2021, pp. 33.3.1–33.3.4.

[8] N. Haratipour et al., "Hafnia-Based FeRAM: A Path Toward Ultra-High Density for Next-Generation High-Speed Embedded Memory," 2022 International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, CA, USA, 2022, pp. 6.7.1–6.7.4.

[9] S. -C. Chang et al., "FeRAM using Anti-ferroelectric Capacitors for High-speed and High-density Embedded Memory," 2021 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, CA, USA, 2021, pp. 33.2.1–33.2.4.

[10] S. -C. Chang et al., "Anti-ferroelectric HfxZr1-xO2 Capacitors for High-density 3-D Embedded-DRAM," 2020 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), San Francisco, CA, USA, 2020, pp. 28.1.1–28.1.4.

권대웅

- 2005년 2월 광운대학교 공학사
- 2011년 2월 서울대학교 공학석사
- 2017년 2월 서울대학교 공학박사
- 2005년 1월 ~ 2014년 2월 삼성반도체, 책임연구원
- 2017년 2월 ~ 2019년 3월 UC Berkeley EECS, Post Doc. & research scientist
- 2019년 3월 ~ 2019년 8월 Intel (CA, USA), Senior engineer
- 2019년 9월 ~ 2023년 3월 인하대학교 전기공학과, 조교수
- 2023년 3월 ~ 현재 한양대학교 융합전자공학부, 조교수

〈관심 분야〉
차세대 로직/메모리 소자 및 공정, CMOS image sensor/gas sensor 소자 및 공정

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS

논문지 논문목차

전자공학회 논문지 제 60권 10호 발행

통신 분야

[통신]

[미래네트워크]

반도체 분야

[반도체 소자 및 재료]

컴퓨터 분야

[인공지능, 신경망 및 퍼지시스템]

인공지능 신호처리 분야

[영상 신호처리]

[영상 이해]

시스템 및 제어 분야

[의용전자 및 생체공학]

산업전자 분야

[반도체재료 및 VLSI 설계]

[회로 및 시스템]

국내외학술행사안내

국 · 내외에서 개최되는 각종 학술대회/전시회를 소개합니다.
게재를 희망하시는 분은 간략한 학술대회 정보를 이메일로 보내주시면 게재하겠습니다.
연락처: biz@theieie.org

〉〉2023년 11월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11.01. - 11.04.	2023 5th IEEE International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems and Applications (TPS-ISA)	Atlanta, Georgia, USA	http://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/tps/2023/
11.01. - 11.04.	2023 IEEE 5th International Conference on Cognitive Machine Intelligence (CogMI)	Atlanta, Georgia, USA	http://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/cogmi/2023/
11.01. - 11.04.	2023 IEEE 9th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)	Atlanta, Georgia, USA	http://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/cic/2023/
11.01. - 11.03.	2023 IEEE 12th International Conference on Cloud Networking (CloudNet)	Hoboken, New Jersey, USA	https://cloudnet2023.ieee-cloudnet.org/
11.01. - 11.03.	2023 IEEE International Humanitarian Technology Conference (IHTC)	Santa Marta, Colombia	https://2023.ieee-ihtc.org/
11.01. - 11.03.	2023 11th International Conference on Control, Mechatronics and Automation (ICCMA)	Grimstad, Norway	http://www.iccma.org/
11.01. - 11.03.	2023 IEEE 22nd International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)	Exeter, United Kingdom	https://hpcn.exeter.ac.uk/trustcom2023/
11.01. - 11.03.	2023 IEEE Tenth International Conference on Communications and Networking (ComNet)	Hammamet, Tunisia	https://comnet.ieee.tn/
11.01. - 11.03.	2023 3rd International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS)	Tashkent, Uzbekistan	https://amity.edu/ictacs2023/
11.01. - 11.04.	2023 International Conference on Integration of Computational Intelligent System (ICICIS)	Pune, India	https://ieee-icicis.in/
11.01. - 11.04.	2023 IEEE International Conference on Design, Test and Technology of Integrated Systems (DTTIS)	Gammarth, Tunisia	http://www.dttis.org/
11.01. - 11.02.	2023 International Conference on Research Methodologies in Knowledge Management, Artificial Intelligence and Telecommunication Engineering (RMKMATE)	Chennai, India	http://rmkec.ac.in/rmkmate2023/
11.01. - 11.03.	2023 XX Workshop on Information Processing and Control (RPIC)	Oberá, Argentina	https://www.rpic.com.ar/
11.02. - 11.04.	2023 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)	Suzhou, China	https://cyberc.org/
11.02. - 11.04.	2023 IEEE XXX International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)	Lima, Peru	https://intercon.ieee.org.pe/
11.02. - 11.04.	2023 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)	Hangzhou, China	http://www.ic-wcsp.org/2023/
11.02. - 11.04.	2023 7th International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)	Bangalore, India	https://csitss.ieee-rvce.org/
11.02. - 11.05.	2023 IEEE International Workshop on Mechatronic Systems Supervision (IW_MSS)	Hammamet, Tunisia	https://iwmss2023.sciencesconf.org/
11.02. - 11.03.	2023 International Conference on Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE)	Sofia, Bulgaria	https://conference.ott-iict.bas.bg/
11.02. - 11.03.	2023 International Conference on Ambient Intelligence, Knowledge Informatics and Industrial Electronics (AIKIIE)	Ballari, India	https://aikiie.in/index.php

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11.02	2023 IEEE MetroCon	Hurst, Texas, USA	https://www.metrocon.org/2023/
11.02. - 11.04.	2023 International Conference on Sensing, Measurement & Data Analytics in the era of Artificial Intelligence (ICSMD)	Xi'an, China	http://icsmd2023.aconf.org/
11.02. - 11.03.	2023 IEEE International Conference on Paradigm Shift in Information Technologies with Innovative Applications in Global Scenario (ICPSITIAGS)	Indore, India	https://sageuniversity.in/ICPS-ITI-AGS-2023/
11.03. - 11.05.	2023 IEEE International Conference on Automation in Manufacturing, Transportation and Logistics (ICaMaL)	Wuhan, China	http://www.iemwave.cn/isemc2023/
11.03. - 11.06.	2023 IEEE 7th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (ISEMC)	Hangzhou, China	http://www.iemwave.cn/isemc2023/#/Home
11.03. - 11.05.	2023 IEEE Silchar Subsection Conference (SILCON)	Silchar, India	http://www.ieeesilcon.org.in/
11.03. - 11.05.	2023 Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings (PNC)	Okinawa, Japan	https://sites.google.com/view/pnc2023
11.03. - 11.05.	2023 17th International Conference on Complex Medical Engineering (CME)	Suzhou, China	http://www.ic-cme.com/
11.03. - 11.04.	2023 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)	Greater Noida, India	http://www.icccis.in/
11.03. - 11.05.	2023 IEEE International Conference on Memristive Computing and Applications (ICMCA)	Jinan, China	https://www.qlit.edu.cn/hyzx/
11.03. - 11.05.	2023 8th IEEE International Conference on Network Intelligence and Digital Content (IC-NIDC)	Beijing, China	https://nidc2023.bupt.edu.cn/
11.04. - 11.06.	2023 IEEE International Conference on e-Business Engineering (ICEBE)	Sydney, Australia	https://conferences.computer.org/icebe/2023/index.htm
11.04. - 11.11.	2023 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and International Symposium on Room-Temperature Semiconductor Detectors (NSS MIC RTSD)	Vancouver, British Columbia, Canada	https://nssmic.ieee.org/2023/
11.04. - 11.07.	2023 Asia Communications and Photonics Conference/2023 International Photonics and Optoelectronics Meetings (ACP/POEM)	Wuhan, China	http://www.acpconf.com/
11.04. - 11.05.	2023 Eighth International Conference On Mobile And Secure Services (MobiSecServ)	Miami Beach, Florida, USA	http://mobisecserv.org/
11.05. - 11.09.	2023 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)	Castelldefels, Spain	https://www.events.sbmo.org.br/imoc2023
11.05. - 11.07.	2023 International Conference on Intelligent Education and Intelligent Research (IEIR)	Wuhan, China	http://ieir2023.org/
11.05. - 11.08.	2023 26th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)	Zhuhai, China	https://www.icems2023.com/
11.06. - 11.10.	2023 IEEE International Radar Conference (RADAR)	Sydney, Australia	https://www.radar2023.org/
11.06. - 11.09.	2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT-LA)	San Juan, Puerto Rico, USA	https://ieee-isgt-latam.org/
11.06. - 11.08.	2023 IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas, Biomedical Engineering and Electronic Systems (COMCAS)	Tel Aviv, Israel	https://www.comcas.org/
11.06. - 11.08.	2023 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)	Pisa, Italy	https://www.metroagrifor.org/
11.06. - 11.09.	2023 36th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)	Rio Grande, Brazil	https://itecfurgcomunicaca.wixsite.com/sibgrapi-2023
11.06. - 11.08.	2023 IEEE 28th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)	Edinburgh, United Kingdom	https://camad2023.ieee-camad.org/
11.06. - 11.09.	2023 19th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)	Daegu, Korea (South)	https://www.avss2023.org/
11.06. - 11.09.	2023 IEEE 64th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS)	Santa Cruz, California, USA	https://focs.computer.org/2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11.06. - 11.09.	2023 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)	Marrakesh, Morocco	https://asonam.cpsc.ucalgary.ca/2023/
11.06. - 11.07.	2023 18th International Conference on Emerging Technologies (ICET)	Peshawar, Pakistan	http://www.icet.org.pk/2023/
11.06. - 11.10.	2023 11th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)	León, Guanajuato, Mexico	https://conisoft.org/2023/
11.06. - 11.07.	2023 International Conference on Recent Advances in Information Technology for Sustainable Development (ICRAIS)	Manipal, India	https://conference.manipal.edu/ICRAIS2023/
11.06. - 11.10.	2023 IEEE PES/IAS PowerAfrica	Marrakech, Morocco	https://ieee-powerafrica.org/
11.06. - 11.08.	2023 IEEE 35th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)	Atlanta, Georgia, USA	https://ictai.computer.org/2023/
11.07. - 11.09.	2023 IEEE 3rd International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI)	Orlando, Florida, USA	http://2023.ieee-dtpi.org/
11.07. - 11.09.	2023 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)	Dresden, Germany	https://nfvsdn2023.ieee-nfvsdn.org/
11.07. - 11.08.	2023 International Conference Informatics, Multimedia, Cyber, and Informations System (ICIMCIS)	Jakarta Selatan, Indonesia	https://2023.icimcis.org/
11.08. - 11.10.	2023 South American Conference On Visible Light Communications (SACVLC)	Santiago, Chile	https://www.sacvlc.cl/
11.08. - 11.11.	2023 IEEE International Conference on Recent Advances in Systems Science and Engineering (RASSE)	Kerala, India	https://2023.ieeerasse.org/
11.08. - 11.11.	2023 International Workshop on Integrated Nonlinear Microwave and Millimetre-Wave Circuits (INMMIC)	Aveiro, Portugal	https://www.inmmic.org/
11.08. - 11.09.	2023 International Conference on Open Innovation and Digital Transformation (OIDT)	Manama, Bahrain	https://oidt2023.agu.edu.bh/
11.08. - 11.09.	2023 6th International Conference on Signal Processing and Information Security (ICSPIS)	Dubai, United Arab Emirates	https://icspis.com/
11.09. - 11.10.	2023 IEEE International Biomedical Instrumentation and Technology Conference (IBITeC)	Yogyakarta, Indonesia	https://ibitec.uii.ac.id/
11.09. - 11.11.	2023 12th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST)	Taichung, Taiwan	https://icast-2023.github.io/
11.09. - 11.11.	2023 IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL)	Macau, China	https://www.icdl-2023.org/
11.09. - 11.10.	2023 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)	Bucharest, Romania	http://www.ehbconference.ro/Home.aspx
11.10. - 11.13.	2023 IEEE 2nd International Power Electronics and Application Symposium (PEAS)	Guangzhou, China	http://peas.cpss.org.cn/
11.10. - 11.11.	2023 6th International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)	Event Format: Virtual	https://icoiact.org/
11.10. - 11.12.	2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE)	Novosibirsk, Russia	https://apeie.ieeesiberia.org/
11.10. - 11.12.	2023 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO)	Famagusta, Cyprus	https://tiptekno.net/2023/
11.11. - 11.17.	SC23: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis	Denver, Colorado, USA	https://sc23.supercomputing.org/
11.11. - 11.12.	2023 IEEE 13th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA)	Hiroshima, Japan	http://www.ieee-jp.org/section/hiroshima/chapter/SMC-28/iwcia2023/
11.12. - 11.16.	2023 IEEE Photonics Conference (IPC)	Orlando, Florida, USA	https://ieee-ipc.org/
11.13. - 11.14.	2023 IEEE Green Energy and Smart Systems Conference (IGESSC)	Long Beach, California, USA	https://site.ieee.org/clas-sysc/call-for-papers/
11.13. - 11.15.	2023 IEEE Future Networks World Forum (FNWF)	Baltimore, Maryland, USA	https://fnwf2023.ieee.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11.13. - 11.17.	2023 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	https://icnetlab.org/cyber-science2023/index.html
11.14. - 11.17.	2023 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)	ZHENGZHOU, China	http://www.icspcc.org/
11.14. - 11.15.	2023 IEEE Broadcast Symposium (BTS)	Washington, District of Columbia, USA	https://bts.ieee.org/broadcastsymposium.html
11.15. - 11.17.	2023 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA)	Genoa, Italy	https://2023ieeecama.org/
11.15. - 11.18.	2023 Middle East and North Africa Solar Conference (MENA-SC)	Dubai, United Arab Emirates	https://mbrsic.ae/en/mena-sc/about-mena-solar-conference/
11.15. - 11.17.	2023 19th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis (SIPAIM)	Mexico City, Mexico	http://www.sipaim.org/
11.15. - 11.17.	2023 International Conference on Sustainable Communication Networks and Application (ICSCNA)	Event Format: Virtual	https://icoscn.com/2023/
11.15. - 11.17.	2023 38th Conference on Design of Circuits and Integrated Systems (DCIS)	Málaga, Spain	https://dcis2023.uma.es/index.html
11.15. - 11.17.	2023 29th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)	Queenstown, New Zealand	https://www.m2vip.org/
11.15. - 11.17.	2023 IEEE CPMT Symposium Japan (ICSJ)	Kyoto, Japan	http://www.ieee-csj.org/
11.15. - 11.16.	2023 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)	Event Format: Virtual	https://ieee-hst.org/
11.15. - 11.17.	2023 XXV Robotics Mexican Congress (COMRob)	Xalapa/Veracruz, Mexico	https://www.uv.mx/comrob/cfp/
11.15. - 11.17.	2023 IEEE Fifth International Conference on DC Microgrids (ICDCM)	Auckland, New Zealand	https://www.ieee-icdcm.org/
11.15. - 11.17.	2023 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED)	Moscow, Russia	http://media-publisher.ru/en/about-tirved-2023/
11.16. - 11.18.	2023 Annual International Conference on Emerging Research Areas: International Conference on Intelligent Systems (AICERA/ICIS)	Kanjirapally, India	https://aicera.in/2023/
11.16. - 11.17.	2023 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)	Cape Town, South Africa	http://www.icecet.com/
11.16. - 11.17.	2023 IEEE Symposium on Reliability for Electronics and Photonics Packaging (REPP)	Milpitas, California, USA	https://attend.ieee.org/repp/
11.16. - 11.17.	2023 31st National Conference with International Participation (TELECOM)	Sofia, Bulgaria	http://e-university.tu-sofia.bg/e-conf/?konf=177
11.16. - 11.18.	2023 International Symposium on Computers in Education (SIIE)	Setúbal, Portugal	https://eventos.ese.ips.pt/siie2023/
11.17. - 11.19.	2023 IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC)	Anaheim, California, USA	https://www.ipccc.org/
11.17. - 11.19.	2023 China Automation Congress (CAC)	Chongqing, China	http://www.cac2023.org.cn/
11.17. - 11.19.	2023 8th International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE)	Singapore, Singapore	http://www.cac2023.org.cn/
11.17. - 11.19.	2023 8th International Conference on Communication, Image and Signal Processing (CCISP)	Chengdu, China	https://www.ccisp.org/
11.17. - 11.19.	2023 9th International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE)	Xi'an, China	http://www.icmee.org/
11.17. - 11.18.	2023 IEEE 5th PhD Colloquium on Emerging Domain Innovation and Technology for Society (PhD EDITS)	Bangalore, India	https://www.phdedits.in/
11.17. - 11.18.	2023 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)	PUDUCHERRY, India	http://www.icscan.in/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11.17. - 11.18.	2023 25th International Multitopic Conference (INMIC)	Lahore, Pakistan	http://inmic.org.pk/2023/
11.17. - 11.18.	2023 International Conference on Intelligent Computing and Next Generation Networks□ICNGN)	Hangzhou, China	https://www.icngn.org/
11.17. - 11.19.	2023 6th International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA)	Xiamen, China	http://www.icmra.org/
11.18. - 11.19.	2023 IEEE North Karnataka Subsection Flagship International Conference (NKCon)	Belagavi, India	https://ieeenkcon2023.org/
11.18	2023 9th International HCI and UX Conference in Indonesia (CHIuXiD)	Bali, Indonesia	https://chiuxid.org/
11.19. - 11.22.	2023 IEEE 11th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)	Guangzhou, China	http://www.em-conf.com/apcap2023/
11.19. - 11.22.	2023 IEEE Gaming, Entertainment, and Media Conference (GEM)	Bridgetown, Barbados	https://ieeegem.org/
11.20. - 11.23.	2023 IEEE International Future Energy Electronics Conference (IFEEC)	Sydney, Australia	https://ifeec2023.org/
11.20. - 11.22.	2023 International Symposium on Micro-NanoMehatronics and Human Science (MHS)	Nagoya, Japan	http://www.mein.nagoya-u.ac.jp/mhs/mhs2023-Top.html
11.20. - 11.21.	2023 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)	Event Format: Virtual	http://iiict.uob.edu.bh/3ict23/
11.20. - 11.22.	2023 IEEE 23rd International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)	Budapest, Hungary	http://conf.uni-obuda.hu/cinti2023/
11.20. - 11.21.	2023 16th International Conference on Security of Information and Networks (SIN)	Jaipur, India	https://sinconf.org/sin2023/
11.21. - 11.23.	2023 Eleventh International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)	Cairo, Egypt	https://icicis.cis.asu.edu.eg/
11.21. - 11.23.	2023 IEEE 6th International Conference on Cloud Computing and Artificial Intelligence: Technologies and Applications (CloudTech)	Marrakech, Morocco	http://www.macc.ma/cloudtech23/
11.21. - 11.24.	2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)	Auckland, New Zealand	https://ieee-isgt-asia.org/
11.21. - 11.22.	2023 31st Telecommunications Forum (TELFOR)	Belgrade, Serbia	https://www.telfor.rs/
11.21. - 11.23.	2023 14th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)	Irbid, Jordan	https://www.just.edu.jo/icics/
11.22. - 11.24.	2023 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)	Rabat, Morocco	http://ictmod-conference.com/
11.22. - 11.24.	2023 15th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)	São Bernardo do Campo, Brazil	https://induscon.org/
11.22. - 11.24.	2023 7th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS)	Bologna, Italy	http://www.icsrs.org/
11.22. - 11.24.	2023 7th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)	Event Format: Virtual	http://icoeca.org/2023/
11.22. - 11.23.	2023 3rd International Conference on Petroleum Technology & Petrochemicals (ICPTP)	Baghdad, Iraq	https://icptp.uotechnology.edu.iq/index.html
11.22. - 11.25.	2023 IEEE Colombian Caribbean Conference (C3)	Barranquilla, Colombia	https://attend.ieee.org/c3/
11.23. - 11.24.	2023 International Conference on Advances in Computation, Communication and Information Technology (ICAICCIT)	Faridabad, India	https://aiccit2023.vercel.app/
11.23. - 11.25.	2023 4th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)	Plovdiv, Bulgaria	http://ciees.eu/
11.23. - 11.24.	2023 International Conference on Recent Advances in Science and Engineering Technology (ICRASET)	B G NAGARA, India	https://bgsiticraset23.com/
11.23. - 11.25.	2023 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)	Malang, Indonesia	http://comnetsat.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11.23. - 11.25.	2023 5th International Conference on Control and Robotics (ICCR)	Tokyo, Japan	http://www.iccr.net/
11.24. - 11.26.	2023 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://vit.ac.in/ipact/
11.24. - 11.25.	2023 IEEE 3rd Applied Signal Processing Conference (ASPCON)	India	http://ieeespskolkata.org/conferences.html
11.24. - 11.26.	2023 Eleventh International Conference on Technology for Education (T4E)	Mumbai, India	https://etsociety.org/t4e2023/
11.24. - 11.26.	2023 Power Electronics and Power System Conference (PEPSC)	Hangzhou, China	https://pepsc.org/
11.24. - 11.25.	2023 International Conference on Integrated Intelligence and Communication Systems (ICIICS)	Kalaburagi, India	https://iciics.in/
11.25. - 11.26.	2023 IEEE 9th International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)	Thiruvananthapuram, India	http://wiecon-ece.org/
11.25. - 11.26.	2023 IEEE International Conference on Intelligent Systems, Smart and Green Technologies (ICISSGT)	Vssakhapatnam, India	https://r10.ieee.org/vizagbay/icissgt-2023/
11.26. - 11.29.	2023 IEEE 8th Southern Power Electronics Conference (SPEC)	Florianopolis, Brazil	https://spec-ieee.org/spec2023/
11.27. - 11.30.	2023 Resilience Week (RWS)	National Harbor, Maryland, USA	https://events.techconnect.org/DTCFall/Resilience-Week/
11.27	2023 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)	Auckland, New Zealand	https://tale2023.org/
11.27. - 11.29.	2023 2nd International Conference on Emerging Trends in Electrical, Control, and Telecommunication Engineering (ETECTE)	Lahore, Pakistan	https://etecte.uol.edu.pk/
11.27. - 11.28.	2023 1st DMIHER International Conference on Artificial Intelligence in Education and Industry 4.0 (IDICAIEI)	Wardha, India	http://www.dmimsu.edu.in/IICAIEI/index.php
11.27. - 11.29.	2023 12th International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)	Hanoi, Vietnam	https://www.iccais2023.org/
11.28. - 11.30.	2023 5th International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA)	Dalian, China	http://www.icaica.org/
11.28. - 11.30.	2023 International Conference on Computer and Applications (ICCA)	Cairo, Egypt	https://icca-conf.info/
11.28. - 11.30.	2023 2nd International Conference on Electronics, Energy and Measurement (IC2EM)	Medea, Algeria	http://www.univ-medea.dz/ic2em2023/
11.28. - 11.0-.	2023 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)	Chiang Mai, Thailand	https://itec-ap2023.com/
11.28. - 11.30.	2023 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoTaIS)	Bali, Indonesia	http://iotais.org/
11.28. - 11.30.	2023 9th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)	SONIPAT, India	https://www.iicpe2023.in/
11.28. - 11.29.	2023 International Conference on the Confluence of Advancements in Robotics, Vision and Interdisciplinary Technology Management (IC-RVITM)	Bangalore, India	http://ic-rvitm.rvitm.edu.in/
11.29	2023 33rd International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC)	Melbourne, Australia	https://itnac.org.au/
11.30	2023 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS)	Event Format: Virtual	https://ieee-wcnps.org/

〉〉2023년 12월

12.01. - 12.02.	2023 IEEE 2nd International Conference on Data, Decision and Systems (ICDDS)	Mangaluru, India	https://icdds.org/
12.01. - 12.02.	2023 IEEE International Conference on Knowledge Graph (ICKG)	Event Format: Virtual	https://ickg2023.zhonghuapu.com/en/
12.01. - 12.03.	2023 IEEE 5th International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)	Taichung, Taiwan	http://www.icaceh.asia/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.01. - 12.03.	2023 IEEE Third International Conference on Signal, Control and Communication (SCC)	Hammamet, Tunisia	https://scc.ieee.tn/
12.01. - 12.04.	2023 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)	Shanghai, China	https://www.cloud-conf.net/icdm2023/index.html
12.01. - 12.03.	2023 Global Conference on Information Technologies and Communications (GCITC)	Bangalore, India	https://gccit.in/index.php
12.01. - 12.03.	2023 IEEE 17th International Conference on Anti-counterfeiting, Security, and Identification (ASID)	Xiamen, China	https://asid.xmu.edu.cn/main.htm
12.02.	2023 IEEE Signal Processing in Medicine and Biology Symposium (SPMB)	Event Format: Virtual	https://www.ieeespmb.org/2023/
12.02. - 12.03.	2023 IEEE 8th International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://icraie2023.com/
12.03. - 12.06.	2023 IEEE International Conference on Energy Technologies for Future Grids (ETFG)	Wollongong, Australia	https://attend.ieee.org/etfg-2023/
12.04. - 12.07.	2023 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS)	Nürnberg, Germany	https://wifs2023.fau.de/
12.04. - 12.07.	2023 30th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)	Istanbul, Turkey	http://icecs2023.isikun.edu.tr/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE 10th Workshop on Wide Bandgap Power Devices & Applications (WiPDA)	Charlotte, North Carolina, USA	https://wipda.org/
12.04. - 12.08.	GLOBECOM 2023 - 2023 IEEE Global Communications Conference	Kuala Lumpur, Malaysia	https://globecom2023.ieee-globecom.org/
12.04. - 12.08.	2023 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://globecom2023.ieee-globecom.org/
12.04. - 12.05.	2023 International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems (MRS)	Boston, Massachusetts, USA	https://sites.bu.edu/mrs2023/
12.04.	2023 Connecting the Unconnected Summit (CTUS)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://ctu.ieee.org/summit/2023-ctu-summit/
12.04. - 12.07.	2023 IEEE/ACM 16th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC)	Taormina, Italy	https://ucc-conference.org/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)	Naples, Italy	https://parsec2.unicampania.it/cloudcom2023/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)	Nadi, Fiji	https://ieee-csde.org/csde2023/
12.04. - 12.06.	2023 International Conference on Sustainable Technology and Engineering (i-COSTE)	Nadi, Fiji	https://i-coste.org/i-coste2023/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE International Conference on Agents (ICA)	Kyoto, Japan	https://confaid.com/ieee-ica2023/
12.04. - 12.09.	2023 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)	Koh Samui, Thailand	http://robio2023.org/
12.04. - 12.06.	2023 4th China International SAR Symposium (CISS)	Shanghai, China	http://ciss2023.cn/
12.04. - 12.06.	2023 26th Conference of the Oriental COCOSDA International Committee for the Co-ordination and Standardisation of Speech Databases and Assessment Techniques (O-COCOSDA)	Delhi, India	https://www.ococosda2023.com/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE 23rd International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)	Event Format: Virtual	https://bibe.conferences.computer.org/2023/
12.04. - 12.07.	2023 20th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)	Giza, Egypt	https://aiccsa.net/AICCSA2023/
12.05. - 12.08.	2023 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)	Istanbul, Turkey	https://bidma.cpsc.ucalgary.ca/IEEE-BIBM-2023/
12.05. - 12.08.	2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)	Taipei, Taiwan	http://www.apmc2023.org/
12.05. - 12.08.	2023 21st International Conference on Advanced Robotics (ICAR)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	https://sites.google.com/view/2023icar

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.05. - 12.08.	2023 IEEE 16th International Conference on Nano/Molecular Medicine & Engineering (NANOMED)	Okinawa, Japan	http://ieee-nanomed.org/2023/
12.05. - 12.08.	2023 IEEE 25th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)	Singapore	https://www.eptc-ieee.net/
12.05. - 12.08.	2023 IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS)	Taipei, Taiwan	http://2023.rtss.org/
12.05. - 12.07.	2023 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)	Valdivia, Chile	https://site.ieee.org/chilesur/ieee-chilecon-2023/
12.06. - 12.08.	2023 IEEE MTT-S Latin American Microwave Conference (LAMC)	San José, Costa Rica	https://lamc-ieee.org/
12.06. - 12.08.	2023 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)	Mexico City, Mexico	https://attend.ieee.org/ssci-2023/
12.06. - 12.08.	2023 24th International Arab Conference on Information Technology (ACIT)	Ajman, United Arab Emirates	https://acit2k.org/ACIT/
12.06. - 12.09.	2023 IEEE EMBS Special Topic Conference on Data Science and Engineering in Healthcare, Medicine and Biology	Malta	https://datascience.embs.org/2023/welcome/
12.06. - 12.09.	2023 IEEE PES 15th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)	Chiang Mai, Thailand	https://ieee-appeec.org/
12.06. - 12.08.	2023 7th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA)	Bali, Indonesia	https://conmedia.umn.ac.id/
12.06. - 12.09.	2023 IEEE/ACM Symposium on Edge Computing (SEC)	Wilmington, Delaware, USA	http://acm-ieee-sec.org/2023/index.php
12.06. - 12.08.	2023 3rd International Conference on Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS)	Bali, Indonesia	https://iconsonics.umn.ac.id/
12.06. - 12.08.	2023 TRON Symposium (TRONSHOW)	Tokyo, Japan	https://tronshow.org/index-e.html
12.07. - 12.09.	2023 International Conference on Modeling, Simulation & Intelligent Computing (MoSICom)	Dubai, United Arab Emirates	https://www.mosicom2023.com/
12.07. - 12.08.	2023 1st International Conference on Optimization Techniques for Learning (ICOTL)	Bengaluru, India	https://mits-icotl23.netlify.app/
12.07. - 12.09.	2023 IEEE Workshop on Recent Advances in Photonics (WRAP)	Prayagraj, India	https://wrap2023.iiita.ac.in/
12.07. - 12.09.	2023 IEEE 6th Student Conference on Electric Machines and Systems (SCEMS)	HuZhou, China	https://scems2023.com/
12.08. - 12.14.	2023 13th International Conference on Information Science and Technology (ICIST)	Cairo, Egypt	https://conference.cs.cityu.edu.hk/icist/
12.08. - 12.10.	2023 IEEE 4th China International Youth Conference On Electrical Engineering (CIYCEE)	Chengdu, China	http://ciycee2023.aconf.cn/index.html
12.08. - 12.10.	2023 IEEE 2nd Industrial Electronics Society Annual On-Line Conference (ONCON)	Event Format: Virtual	https://iesoncon2023.com/
12.08. - 12.09.	2023 Fourth International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE)	Bengaluru, India	https://icstcee.in/
12.08. - 12.11.	2023 9th International Conference on Computer and Communications (ICCC)	Chengdu, China	http://www.iccc.org/
12.08. - 12.10.	2023 IEEE 11th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)	Chongqing, China	http://www.itaic.org/
12.08. - 12.09.	2023 IEEE International Conference on ICT in Business Industry & Government (ICTBIG)	Indore, India	https://indore.hosting.acm.org/ictbig2023/index.htm
12.08. - 12.10.	2023 15th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://skimanetwork.org/
12.08. - 12.09.	2023 3rd International Conference on Mobile Networks and Wireless Communications (ICMNWC)	Tumkur, India	https://www.icmnwc.com/
12.08. - 12.10.	2023 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://vit.ac.in/ipact/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.08. - 12.10.	2023 8th International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research (ICMERR)	Krakow, Poland	http://www.icmerr.com/
12.08. - 12.10.	2023 8th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC)	Changsha, China	http://www.iccrc.org/index.html
12.08. - 12.10.	2023 13th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES)	Chengdu, China	http://www.icpes.org/
12.09. - 12.13.	2023 International Electron Devices Meeting (IEDM)	San Francisco, California, USA	https://www.ieee-iedm.org/
12.10. - 12.11.	2023 IEEE International Conference on Computer Vision and Machine Intelligence (CVMI)	Gwalior, India	https://cvmi2023.iiitm.ac.in/
12.10. - 12.12.	2023 IEEE 16th Malaysia International Conference on Communication (MICC)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://micc2023.mycomvt.info/
12.10. - 12.13.	2023 IEEE India Geoscience and Remote Sensing Symposium (InGARSS)	Bangalore, India	https://ingarss.org/
12.10. - 12.13.	2023 IEEE 3rd International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC)	Bhubaneswar, India	https://event.kiit.ac.in/STPEC2023/
12.10. - 12.13.	2023 IEEE 9th International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP)	Herradura, Costa Rica	https://ig.umons.ac.be/index.php
12.11. - 12.13.	2023 IEEE Ninth Multimedia Big Data (BigMM)	Laguna Hills, California, USA	https://www.bigmm.org/
12.11. - 12.13.	2023 4th International Conference on Power Engineering (ICPE)	Macau, Macao	http://www.icpe.net/
12.11. - 12.13.	2023 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)	Laguna Hills, California, USA	https://www.ieee-ism.org/
12.11. - 12.14.	2023 IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference (MAPCON)	Ahmedabad, India	https://www.ieeemapcon.org/
12.11. - 12.13.	2023 2nd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)	Event Format: Virtual	http://icacrs.com/2023/
12.11. - 12.13.	2023 6th International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)	Rabat, Morocco	http://www.commnet-conf.org/
12.11. - 12.13.	2023 Seventh IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)	Laguna Hills, California, USA	https://www.ieee-irc.org/
12.11. - 12.14.	2023 IEEE 22nd International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	https://www.powermems.org/
12.11. - 12.12.	2023 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)	Lahore, Pakistan	https://fit.edu.pk/
12.11. - 12.13.	2023 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)	Singapore, Singapore	https://2023.ieee-soli.org/
12.12. - 12.14.	2023 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems (EDAPS)	Rose-Hill, Mauritius	http://edaps.org/
12.12. - 12.15.	2023 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC-India)	Chennai, India	https://saeindia.org/events/itecindia-2023/
12.12. - 12.14.	2023 IEEE-RAS 22nd International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)	Austin, Texas, USA	https://2023.ieee-humanoids.org/
12.12. - 12.14.	2023 IEEE 4th International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)	Beirut, Lebanon	http://lreee.org/imcet23/
12.12. - 12.15.	2023 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC)	Singapore, Singapore	https://cdc2023.ieeecss.org/
12.13. - 12.15.	2023 International Symposium on Ocean Technology (SYMPOL)	Kochi, India	http://sympol.cusat.ac.in/
12.13. - 12.15.	2023 4th International Conference on Computers and Artificial Intelligence Technology (CAIT)	Macau, Macao	http://www.cait.net/
12.13. - 12.15.	2023 Asian Hardware Oriented Security and Trust Symposium (AsianHOST)	Tianjin, China	https://www.asianhost.org/2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.13. - 12.15.	2023 IEEE Afro-Mediterranean Conference on Artificial Intelligence (AMCAI)	Hammamet, Tunisia	https://easychair.org/cfp/AMCAI-2023
12.13. - 12.15.	2023 26th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)	Cox's Bazar, Bangladesh	https://iccit.org.bd/2023/
12.13. - 12.15.	2023 OITS International Conference on Information Technology (OCIT)	Raipur, India	https://www.oits-icit.org/
12.13. - 12.16.	2023 IEEE 54th Semiconductor Interface Specialists Conference (SISC)	San Diego, California, USA	https://www.ieeesisc.org/
12.13. - 12.15.	2023 10th IEEE International Conference on Power Systems (ICPS)	Cox's Bazar, Bangladesh	http://www.icps23.com/
12.13. - 12.14.	2023 IEEE 21st Student Conference on Research and Development (SCOReD)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://ieeemy.org/scored/
12.14. - 12.16.	2023 IEEE/ACIS 8th International Conference on Big Data, Cloud Computing, and Data Science (BCD)	Hochimin City, Vietnam	https://acisinternational.org/conferences/bcd-2023/
12.14. - 12.16.	2023 IEEE International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)	Paris, France	https://www.olab-dynamics.net/wetice2023/index.html
12.14. - 12.16.	2023 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Asia Pacific (TEMSCON-ASPAC)	Bengaluru, India	https://aspac-temscon.com/
12.14. - 12.16.	2023 11th National Power Electronics Conference (NPEC)	Guwahati, India	https://www.npec2023.com/
12.14. - 12.15.	2023 IEEE International Conference on Machine Learning and Applied Network Technologies (ICMLANT)	Event Format: Virtual	https://icmlant.com/
12.14. - 12.16.	2023 8th International Conference on Computers and Devices for Communication (CODEC)	Kolkata, India	https://www.codec-rpe.org/
12.14. - 12.15.	2023 International Conference on Energy, Materials and Communication Engineering (ICEMCE)	Madurai, India	https://icemce2023.github.io/icemce/
12.14. - 12.15.	2023 9th International Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS)	Bali, Indonesia	https://icspis.ir/
12.14. - 12.16.	2023 3rd International Conference on Robotics, Automation and Artificial Intelligence (RAAI)	Singapore, Singapore	http://www.raai.net/
12.14. - 12.16.	2023 2nd International Conference on Automation, Robotics and Computer Engineering (ICARCE)	Wuhan, China	https://www.icarce.com/
12.14. - 12.17.	2023 IEEE 20th India Council International Conference (INDICON)	Warangal, India	https://cms.nitw.ac.in/conference/indicon2023/
12.14. - 12.16.	2023 International Conference on Next Generation Electronics (NEleX)	Vellore, India	https://vit.ac.in/NEleX/
12.14. - 12.15.	2023 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSES)	Chennai, India	https://icses2023.stjosephstechnology.ac.in/
12.15. - 12.17.	2023 IEEE 7th Conference on Information and Communication Technology (CICT)	Jabalpur, India	https://cict2023.com/
12.15. - 12.17.	2023 5th International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEECT)	Chengdu, China	https://ceect.org/
12.15. - 12.17.	2023 IEEE 6th International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering (AUTEEE)	Shenyang, China	http://www.auteee.org/
12.15. - 12.17.	2023 IEEE 6th International Conference on Electronics and Communication Engineering (ICECE)	Xi'an, China	http://www.icece.net/
12.15. - 12.17.	2023 International Conference on Neuromorphic Computing (ICNC)	Wuhan, China	http://icnc2023.org/
12.15. - 12.16.	2023 4th International Conference on Communication, Computing and Industry 6.0 (C216)	Bangalore, India	https://sites.google.com/view/c2i6-2023/home
12.15. - 12.17.	2023 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (Healthcom)	Chongqing, China	https://healthcom2023.ieee-healthcom.org/
12.15. - 12.17.	2023 IEEE 3rd International Conference on Social Sciences and Intelligence Management (SSIM)	Taichung, Taiwan	http://www.ssim.asia/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.15. - 12.17.	2023 9th International Conference on Big Data and Information Analytics (BigDIA)	Haikou, China	https://2023.bigdia.org/
12.15. - 12.17.	2023 11th International Conference on Intelligent Systems and Embedded Design (ISED)	Dehradun, India	https://isedconf.org/
12.15. - 12.18.	2023 IEEE International Conference on Big Data (BigData)	Sorrento, Italy	http://bigdataieee.org/BigData2023/index.html
12.15. - 12.18.	2023 IEEE 7th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)	Hangzhou, China	https://attend.ieee.org/ei2-2022/
12.15. - 12.17.	2023 International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)	Jacksonville, Florida, USA	https://icmla-conference.org/icmla23/
12.15. - 12.16.	2023 5th International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)	Greater Noida, India	https://icac3n.in/
12.15. - 12.17.	2023 20th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)	Chengdu, China	https://waveletlab.cn/
12.16. - 12.22.	2023 7th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt)	Agadir - Essaouira, Morocco	http://www.ieee.ma/cist23/
12.16. - 12.2023 .	2023 IEEE 11th Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)	Malacca, Malaysia	https://sites.google.com/view/icspc/home
12.16. - 12.20.	2023 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU)	Taipei, Taiwan	http://www.asru2023.org/
12.16. - 12.18.	2023 14th International Renewable Energy Congress (IREC)	Sousse, Tunisia	https://irec-conference.com/
12.16. - 12.17.	2023 16th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)	Hangzhou, China	http://iukm.zju.edu.cn/iscid/index.html
12.17. - 12.20.	2023 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)	Trivandrum, India	https://pesgre2023.org/
12.17. - 12.20.	2023 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)	Jaipur, India	https://ants2023.ieee-ants.org/
12.17. - 12.21.	2023 IEEE International Conference on High Performance Computing & Communications, Data Science & Systems, Smart City & Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application (HPCC/DSS/SmartCity/DependSys)	Melbourne, Australia	http://www.swinflow.org/confs/2023/hpcc/
12.17. - 12.21.	2023 IEEE 29th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)	Ocean Flower Island, China	https://ieee-cybermatics.org/2023/icpads/
12.17. - 12.21.	2023 IEEE International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing & Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical & Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics)	Danzhou, China	https://ieee-cybermatics.org/2023/
12.17. - 12.21.	2023 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)	Danzhou, China	https://ieee-cybermatics.org/2023/blockchain/
12.18. - 12.21.	2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)	Singapore, Singapore	https://www.ieem.org/public.asp?page=index.asp
12.18. - 12.20.	2023 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (iSES)	Ahmedabad, India	https://ieee-ises.org/2023/
12.18. - 12.20.	2023 7th International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech)	Kolkata, India	https://iementech.iem.edu.in/
12.18. - 12.21.	2023 IEEE 30th International Conference on High Performance Computing, Data, and Analytics (HiPC)	Goa, India	https://hipc.org/
12.18. - 12.20.	2023 IEEE 11th International Conference on Systems and Control (ICSC)	Sousse, Tunisia	https://icsc.conference.univ-poitiers.fr/
12.18. - 12.20.	2023 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)	Riyadh, Saudi Arabia	https://saudi-sg.com/
12.19. - 12.21.	2023 11th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM)	Tehran, Iran	https://icrom.ir/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.20. - 12.21.	2023 Fifth Scientific Conference for Electrical Engineering Techniques Research (EETR)	Baghdad, Iraq	http://eetr2023.eetc.mtu.edu.iq/
12.20. - 12.21.	2023 17th International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST)	Lahore, Pakistan	https://icosst.kics.edu.pk/2023/
12.21. - 12.23.	2023 3rd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)	Event Format: Virtual	http://icimia.in/#about
12.21. - 12.22.	2023 4th International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC)	Ankara, Turkey	https://iisec.tbdakademi.org.tr/2023/
12.21. - 12.24.	2023 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom)	Wuhan, China	http://www.ieee-hust-ncc.org/2023/ISPA/index.html
12.21. - 12.24.	2023 IEEE International Conference on Security, Privacy, Anonymity in Computation and Communication and Storage (SpaCCS)	Wuhan, China	http://www.ieee-hust-ncc.org/2023/SpaCCS/index.html
12.21. - 12.22.	2023 3rd International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET)	Patna, India	https://sites.google.com/nitp.ac.in/icefeet-2023/home
12.22. - 12.23.	2023 IEEE 15th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)	Bangkok, Thailand	http://cicn.in/
12.22. - 12.23.	2023 International Conference on Computational Intelligence, Networks and Security (ICCINS)	Mylavaram, India	https://www.iccins.in/
12.22. - 12.24.	2023 5th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://2023.icecie.com/
12.23. - 12.25.	2023 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)	Hanoi, Vietnam	https://rivf2023.org/
12.27. - 12.28.	2023 5th Sustainability and Resilience Conference: Energy And Industry 4.0 – Technologies And Applications (SRC)	Event Format: Virtual	https://srcdi.uob.edu.bh/
12.29. - 12.31.	2023 3rd International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)	Bangalore, India	https://smartgencon.org/
12.29. - 12.30.	2023 International Conference on Artificial Intelligence for Innovations in Healthcare Industries (ICAIIHI)	Raipur, India	https://www.icaiihi.com/

〉〉2024년 1월

01.01. - 01.06.	2024 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision Workshops (WACVW)	Waikoloa, Hawaii, USA	https://wacv2024.thecvf.com/
01.03. - 01.05.	2024 18th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://imcom.org/
01.04. - 01.06.	2024 International Conference on Social and Sustainable Innovations in Technology and Engineering (SASI-ITE)	Tadepalligudem, India	http://ite.sasi.ac.in/
01.04. - 01.06.	2024 2nd International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT)	Event Format: Virtual	http://icoici.org/2024/
01.06. - 01.08.	2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	Las Vegas, Nevada, USA	https://icce.org/2024/call-for-papers-2/
01.06. - 01.09.	2024 IEEE 21st Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)	Las Vegas, Nevada, USA	https://ccnc2024.ieee-ccnc.org/
01.06. - 01.10.	2024 37th International Conference on VLSI Design and 2024 23rd International Conference on Embedded Systems (VLSID)	Kolkata, India	https://vlsid.org/
01.08. - 01.11.	2024 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)	Ha Long, Vietnam	https://sice-si.org/SII2024/
01.08. - 01.10.	2024 4th International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)	Doha, Qatar	http://www.sgre-qa.org/
01.10. - 01.12.	2024 2nd International Conference on Big Data and Privacy Computing (BDPC)	Macau, China	http://www.icbd.org/
01.11. - 01.12.	2024 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)	Bhilai, India	http://icaect.com/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
01.12. - 01.14.	2024 8th International Conference on Robotics, Control and Automation (ICRCA)	Shanghai, China	http://www.icrca.org/
01.17. - 01.19.	2024 IEEE International Conference on Artificial Intelligence eXtended and Virtual Reality (AIXVR)	Los Angeles, California, USA	https://aivr.science.uu.nl/
01.17. - 01.19.	2024 International Conference on Information Networking (ICOIN)	Ho Chi Minh City, Vietnam	https://www.icoin.org/
01.17. - 01.19.	2024 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST)	Event Format: Virtual	https://gecost.curtin.edu.my/
01.18. - 01.28.	2024 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)	Albuquerque, New Mexico, USA	https://rams.org/
01.18. - 01.19.	2024 14th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)	Noida, India	https://www.amity.edu/aset/confluence2024/
01.18. - 01.20.	2024 Third International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T)	Raipur, India	http://icpc2t.nitrr.ac.in/
01.21. - 01.24.	2024 102nd ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG)	San Antonio, Texas, USA	https://www.arftg.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE Topical Conference on RF/Microwave Power Amplifiers for Radio and Wireless Applications (PAWR)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE 24th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE Space Hardware Radio Conference (SHaRC)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNeT)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.25.	2024 IEEE 37th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)	Austin, Texas, USA	https://www.mems24.org/
01.22. - 01.24.	2024 IEEE Applied Sensing Conference (APSCON)	Goa, India	https://2024.ieee-apscon.org/
01.22. - 01.25.	2024 29th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)	Incheon, Korea (South)	https://aspdac.gabia.io/
01.24. - 01.25.	2024 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)	Bangalore, India	https://iciitcee.in/
01.25. - 01.27.	2024 IEEE 3rd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC)	Kolkata, India	https://www.ciec24.co.in/
01.25. - 01.27.	2024 IEEE 22nd World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)	Stará Lesná, Slovakia	http://conf.uni-obuda.hu/sami2024/
01.29. - 02.01.	2024 Pan Pacific Strategic Electronics Symposium (Pan Pacific)	Kona, Big Island, Hawaii, USA	https://smta.org/mpage/panpac
01.29. - 01.30.	2024 IEEE Electrical Energy Storage Application and Technologies Conference (EESAT)	San Diego, California, USA	https://cmte.ieee.org/pes-eesat/
01.31. - 02.03.	2024 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON)	Chiang-mai, Thailand	http://www.icdamt.org/2024/
〉〉2024년 2월			
02.01. - 02.02.	2024 Australian & New Zealand Control Conference (ANZCC)	Gold Coast, Australia	https://anzcc.org.au/ANZCC2024/
02.01. - 02.02.	2024 International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA)	Victoria, Seychelles	http://www.acdsa.org/
02.01. - 02.03.	2024 Black Issues in Computing Education (BICE)	Santo Domingo, Dominican Republic	https://www.ieeebice.org/
02.05. - 02.07.	2024 IEEE Second International Conference on Conversational Data & Knowledge Engineering (CDKE)	Laguna Hills, California, USA	https://www.cdke.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
02.05. - 02.07.	2024 IEEE First International Conference on Artificial Intelligence for Medicine, Health and Care (AIMHC)	Laguna Hills, California, USA	https://www.aimhc.org/
02.05. - 02.07.	2024 IEEE 18th International Conference on Semantic Computing (ICSC)	Laguna Hills, California, USA	https://www.ieee-icsc.org/
02.07. - 02.09.	2024 IEEE 3rd International Conference on AI in Cybersecurity (ICAIC)	Houston, Texas, USA	https://icaic.gyancity.com/
02.08. - 02.10.	2024 2nd International Conference on Computer, Communication and Control (IC4)	Indore, India	http://conference.medicaps.ac.in/
02.12. - 02.14.	2024 2nd International Conference on Unmanned Vehicle Systems-Oman (UVS)	Muscat, Oman	https://uvsc.om/
02.12. - 02.13.	2024 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)	College Station, Texas, USA	http://tpec.engr.tamu.edu/
02.14. - 02.15.	2024 9th International Conference on Technology and Energy Management (ICTEM)	Iran	https://ictem.ir/2024
02.16. - 02.17.	2024 IEEE International Conference for Women in Innovation, Technology & Entrepreneurship (ICWITE)	Bangalore, India	https://icwite-2024.ieeebangalore.org/
02.18. - 02.22.	2024 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)	San Francisco, California, USA	https://www.isscc.org/
02.18. - 02.21.	2024 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)	Bangkok, Thailand	https://www.bigcomputing.org/conf2024/
02.19. - 02.22.	2024 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)	Washington, District of Columbia, USA	https://ieee-isgt.org/
02.19. - 02.22.	2024 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)	Big Island, Hawaii, USA	http://www.conf-icnc.org/2024/
02.19. - 02.22.	2024 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIC)	Osaka, Japan	http://icaiic.org/
02.19. - 02.21.	2024 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)	Dubai, United Arab Emirates	https://www.giis2023.org/home
02.19. - 02.20.	2024 5th International Conference on Advancements in Computational Sciences (ICACS)	Lahore, Pakistan	https://sites.uol.edu.pk/icacs24/
02.21. - 02.23.	2024 4th International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM)	Noida, India	https://amity.edu/iciptm2024/
02.21. - 02.23.	2024 IEEE International Microwave Filter Workshop (IMFW)	Cocoa Beach, Florida, USA	http://www.imfw-ieee.org/
02.22. - 02.23.	2024 Second International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ICETITE)	Vellore, India	https://icetite.vit.ac.in/
02.22. - 02.24.	2024 10th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)	Athens, Greece	http://www.icara.us/index.html
02.23. - 02.24.	2024 International Conference on Integrated Circuits and Communication Systems (ICICACS)	Raichur, India	https://iciccs.in/index.php
02.23. - 02.24.	2024 3rd International conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)	Mathura, India	https://www.gla.ac.in/parc2024/
02.25. - 02.29.	2024 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)	Long Beach, California, USA	https://apec-conf.org/
02.26. - 02.28.	2024 10th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP)	Rome, Italy	https://icissp.scitevents.org/
02.26. - 02.28.	2024 12th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)	Gangwon, Korea (South)	https://brain.korea.ac.kr/bci2024/
02.26. - 02.28.	2024 Forum for Innovative Sustainable Transportation Systems (FISTS)	Riverside, California, USA	https://ieee-fists.org/2024/
02.27. - 02.28.	2024 Arab ICT Conference (AICTC)	Manama, Bahrain	http://www.arabict.info/
02.27. - 02.29.	2024 IEEE 3rd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)	Changchun, China	http://www.eebda.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
02.27. - 03.01.	2024 IEEE 15th Latin America Symposium on Circuits and Systems (LASCAS)	Punta del Este, Uruguay	https://www.ieee-lascas.org/
02.27. - 02.29.	2024 10th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering (ICMRE)	Milan, Italy	http://www.icmre.org/
02.28. - 02.29.	2024 2nd International Conference on Software Engineering and Information Technology (ICoSEIT)	Event Format: Virtual	https://icoseit.com/
02.28. - 03.01.	2024 11th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)	New Delhi, India	http://bvicam.ac.in/indiacom/
02.28. - 03.02.	2024 16th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)	Krabi, Thailand	http://kst.buu.ac.th/2024/

The Magazine of the IEIE

특별회원사 명단

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
(주)디비하이텍	최창식	경기도 부천시 수도로 90(도당동)	032-680-4700	www.dbhitek.com
(주)레티널	김재혁	경기도 안양시 동안구 부림로170번지 41-10, 4층	02-6959-7007	https://letinar.com
(주)마르시스	박용규	서울시 강남구 언주로 85길 7	02-3445-3999	http://www.marusys.com
(주)세미파이브	조명현	경기도 성남시 분당구 양현로 322, 코리아디자인센터 2층		http://www.semifive.com
(주)센서위드유	이윤식	울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 501-4호	052-912-4282	http://www.sensorwyou.com
(주)에스비솔루션	변영재	울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 401-3호	052-217-7343	http://www.sb-solutions.co.kr
(주)에어포인트	백승준	대전광역시 유성구 테크노2로 187, 204호(용산동, 미건테크노월드 2차)	042-484-5460	http://www.airpoint.co.kr
(주)와이솔	김지호	경기도 오산시 가장로 531-7	070-7837-2730	http://www.wisol.co.kr
(주)웨이브피아	이상훈	경기도 화성시 동탄기흥로 557 금강펜테리움IT타워 1301호	031-8058-3384	http://www.wavepia.com
KT	구현모	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.com
LG이노텍㈜	정철동	서울시 강서구 마곡중앙10로 30	02-3777-1114	www.lginnotek.com
LG전자㈜	조주완, 배두용	서울시 영등포구 여의도동 30	02-3777-1114	http://www.lge.co.kr
LIG넥스원	김지찬	서울시 서초구 강남대로 369(서초동, 나라빌딩)	02-1644-2005	http://www.lignex1.com
LPKF Laser&Electronics	이용상,벤델레괴츠마티아스	경기도 안양시 동안구 흥안대로 427번길	031-689-3660	www.lpkf.com/kr
SK텔레콤㈜	유영상	서울시 중구 을지로65(을지로2가) SK T-타워	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com
SK하이닉스㈜	박정호, 곽노정	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
네이버㈜	최수연	경기도 성남시 분당구 불정로 6 (정자동 그린팩토리)	031-784-2560	https://www.navercorp.com
누리미디어	최순일	서울시 영등포구 선유로 63, 4층(문래동 6가)	02-710-5300	http://www.nurimedia.co.kr
대덕전자(주)	신영환	경기도 안산시 단원구 강촌로230 (목내동 475)	031-8040-8000	http://www.daeduck.com
대전테크노파크	임헌문	대전시 유성구 테크로9로	042-930-4300	www.djtp.or.kr
도쿄일렉트론코리아(주)	원제형	경기도 화성시 장안면 장안공단 6길 51	031-260-5000	https://www.tel.com
리얼텍코리아 주식회사	팅치창	서울시 서초구 사임당로 18, 석오빌딩 5층	070-4120-7966	www.realtek.cpm/en
비젼테크	이원복	대전 유성구 테크노2로 187, 미건테크노월드2차 1층 118호	042-934-0236	http://www.visiontechkorea.com
삼성전자㈜	한종희, 경계현	서울시 서초구 서초2동 1320-10 삼성전자빌딩	02-1588-3366	https://www.samsung.com
스카이칩스	이강윤	수원시 장안구 서부로 2066, 산학협력센터 85511호	031-299-6848	http://www.skaichips.co.kr
스테코㈜	박영우	충청남도 천안시 서북구 3공단1로 20(백석동)	041-629-7480	http://www.steco.co.kr
에스에스앤씨㈜	한은혜	서울시 영등포구 당산로171, 1301	02-6925-2550	http://www.secnc.co.kr
에어스메디컬	이진구	서울시 관악구 남부순환로 1838	070-7777-3186	www.airsmed.com
오토아이티㈜	정명환	대구시 수성구 알파시티1로 117	053-795-6303	www.auto-it.co.kr
유정시스템㈜	이재훈	서울시 구로구 디지털로26길 110	02-852-8721	www.yjsys.co.kr
정보통신정책연구원	권호열	충북 진천군 덕산읍 정통로 18	043-531-4389	www.kisdi.re.kr
㈜LX세미콘	손보익	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	www.lxsemicon.com

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
㈜넥스틴	박태훈	경기도 화성시 동탄면 동탄산단9길 23-12	031-629-2300	http://www.nextinsol.com
㈜더즈텍	김태진	경기도 안양시 동안구 학의로 292 금강펜테리움IT타워 A동 1061호	031-450-6300	http://www.doestek.co.kr
㈜만도	정몽원, 조성현, 김광현	경기도 평택시 포승읍 하만호길 32	02-6244-2997	www.mando.com
㈜빅텍	임만규	경기도 이천시 마장면 덕이로 180-31	031-631-7301	http://www.vitek.co.kr
㈜스프링클라우드	송영기	경기도 성남시 창업로 42	031-778-8328	www.aspringcloud.com
㈜시스메이트	이상만	대전시 유성구 유성대로 1184길 41	042-486-6135	http://www.sysmate.com
주식회사 뷰웍스	김후식	경기도 안양시 동안구 부림로 170번길 41-3	070-7011-6161	https://www.vieworks.com
㈜실리콘마이터스	허염	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660 유스페이스-1 A동 8층	1670-7665	http://www.siliconmitus.com
㈜싸이몬	정창호	경기도 성남시 분당구 벌말로48(구 야탑동 272-1 케이디티빌딩)	02-480-8580	http://www.cimon.com
㈜싸인텔레콤	박영기	서울시 영등포구 경인로 775, 문래동 3가 에이스하이테크시티 1동 119호	02-3439-0033	http://www.signtelecom.com
㈜쏠리드	정준, 이승희	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 쏠리드스페이스	031-627-6000	http://www.st.co.kr
㈜유니트론텍	남궁 선	서울시 강남구 영동대로 638(삼도빌딩) 9층	02-573-6800	http://unitrontech.com
㈜코클리어닷에이아이	한윤창	서울시 강남구 봉은사로 51길 26		www.cochl.ai
㈜크레셈	오상민	대전시 유성구 대덕대로 582, 4층 402호(도룡동, 옥토빌딩)	031-427-3445	http://wwww.cressem.com
㈜텔레칩스	이장규	서울시 송파구 올림픽로 35다길 42(신천동 한국루터회관)19~23층	02-3443-6792	www.telechips.com
㈜티에이치엔	이광연, 채승훈	대구시 달서구 갈산동 973-3	053-583-3001	http://www.th-net.co.kr
㈜티엘아이	김달수	경기도 성남시 중원구 양현로 405번길 12 티엘아이 빌딩	031-784-6800	http://www.tli.co.kr
㈜해치텍	최성민	충북 청주시 청원구 오창읍 연구단지로 40, 스타기업관 207호	043-715-9034	http://www.haechitech.com
중소벤처기업진흥공단	김학도	경상남도 진주시 동진로 430	055-751-9380	www.kosmes.or.kr
케이케이테크(주)	김경하	경기도 안성시 대덕면 무능로132	031-678-1586	http://www.k-ktech.co.kr
코어인사이트㈜	유용훈	경기도 성남시 중원구 갈마치로 186 반포테크노피아 5층	031-750-9200	http://www.coreinsight.co.kr
한국알박㈜	김선길	경기도 평택시 청북읍 한산길5	031-683-2922	http://www.ulvackora.co.kr
한국인터넷진흥원	이원태	서울시 송파구 중대로 135 (가락동) IT벤처타워	02-405-5118	http://www.kisa.or.kr
한국전기연구원	명성호	경남 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)	055-280-1114	http://www.keri.re.kr
한국전자기술연구원	김영삼	경기도 성남시 분당구 새나리로 25 (야탑동)	031-789-7000	http://www.keti.re.kr
한국전자통신연구원	김명준	대전시 유성구 가정로 218	042-860-6114	http://www.etri.re.kr
한화시스템㈜	김연철	서울시 중구 청계천로 86 (장교동) 한화비딩 (19,20층)	02-729-3030	http://www.hanwhasystems.com
현대로템㈜	이용배	경기도 의왕시 철도박물관로 37	031-596-9114	http://www.hyundai-rotem.co.kr
현대모비스㈜	조성환	서울시 강남구 테헤란로 203	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대자동차㈜	정의선, 장재훈, 이동석	경기도 화성시 장덕동 772-1	02-3464-1114	http://www.hyundai-motor.com
호리바에스텍코리아㈜	김성환 외 1명	경기도 용인시 수지구 디지털벨리로 98 호리바빌딩	031-6520-6500	http://www.horiba.com
히로세코리아㈜	이상엽	경기도 시흥시 정왕동 희망공원로 250	031-496-7000	http://www.hirose.co.kr
히타치하이테크코리아㈜	MIYOSHI KEITA	경기도 성남시 분당구 정자일로 155, 엔16층(정자동, 분당두산타워)	031-725-4201	https://www.hitachi-hightech.com

박사학위 논문초록 게재 안내

본 학회에서는 전자공학회지에 국내외에서 박사학위를 취득한 회원의 학위 논문초록을 게재하고 있으니 해당 회원 여러분의 적극적인 참여를 바랍니다.(단, 박사학위 취득후 1년 이내에 제출해 주시는 것에 한함.)

성 명	(국문) (한문) (영문)			
학위취득	학 교 명	대학교 학과	생년월일	년 월 일
	취득년월	년 월	지도교수	
현 근무처 (또는 연락처)	주 소			(우편번호 :)
	전화번호		FAX번호	
학위논문 제목	국 문			
	영 문			
KEY WORD				

국문 초록(요약) : 1000자 이내

보내실 곳 _ 06130
서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 제1관 907호)
사무국 회지담당자앞
E-mail : biz@theieie.org
TEL : (02)553-0255(내선 5) FAX : (02)552-6093

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

전자공학회지 〈월간〉 제50권 제10호(통권 제473호) The Magazine of the IEIE

2023년 10월 20일 인쇄
2023년 10월 25일 발행

발행및 **(사) 대한전자공학회** **회장 이 혁 재**
편집인
인쇄인 **한림원(주)** **대표 김 흥 중**
발행인 **사단법인 대 한 전 자 공 학 회**
(우)06130 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 제1관 907호)
TEL.(02)553-0255~7 FAX.(02)552-6093
E-mail : ieie@theieie.org
Homepage : http://www.theieie.org
씨티은행 102-53125-258


첨단기술로
더 나은 환경을 만듭니다
더 나은 미래를 열어가는 기술
환경문제를 해결하는 기술
반도체의 미래를 준비하는 일
지금, SK하이닉스가 하고 있습니다
We Do Green Technology
We Do Technology
첨단기술의 중심, 더 나은 세상을 만듭니다
SK hynix

2023년도 회비납부 안내

1. 회비의 납부 및 유효기간

2023년도 회원 연회비는 2022년과 동일함을 알려드리며, 아직 2023년도 회비를 납부하지 않으신 회원님께서는 납부하여 주시기 바라며, 연회비의 유효기간은 회비를 납부한 당해연도에 한합니다.

◆ 2023년도 회원 연회비는 다음과 같습니다.
- 정 회 원 : 70,000원 (입회비 : 10,000원)
- 학생회원 : 30,000원 (입회비 면제)
- 평생회원 : 700,000원
  - 평생회비 할인 제도 : 학회 홈페이지 안내 참조
  - 평생회비 분납 제도(1년 한) : 평생회비 분할 납부를 원하시는 회원께서는 회원 담당에게 요청하여 주시기 바랍니다.
  - 7월 1일부터 연회비 50% 할인 적용

2. 논문지(eBook) 제공

학회지와 논문지(국 · 영문)가 eBook으로 발간되어 학회 홈페이지(http://www.theieie.org)를 통해 제공되고 있습니다.

3. 회비의 납부방법

신용카드(홈페이지 전자결제) 및 계좌이체(한국씨티은행, 102-53125-258)를 이용하여 학회 연회비, 심사비 및 논문게재료 등 납부 가능합니다.

4. 석 · 박사 신입생 및 재학생 다년 학생회원 가입 및 회비 할인 제도 안내

우리 학회에서는 석 · 박사 신입생 및 재학생을 위하여 다년 학생회원 가입 제도 및 회비 할인 제도를 마련하였습니다. 한 번의 회원가입으로 졸업 및 수료 때까지 학회 활동에 참여하실 수 있는 기회가 되시기 바라며 회비 할인 혜택까지 받으시길 바랍니다.

◎ 가입 대상 및 할인 혜택
- 가입 대상 : 2023년 석 · 박사 신입생 및 재학생
- 할인 내용 : 2년 60,000원(1년당 30,000원) → 2년 50,000원(16.7% 할인)
  3년 90,000원(1년당 30,000원) → 3년 70,000원(22.2% 할인)
  4년 120,000원(1년당 30,000원) → 4년 90,000원(25% 할인)
  5년 150,000원(1년당 30,000원) → 5년 110,000원(26.7% 할인)

5. 문의처

◆ 대한전자공학회 사무국 변은정 부장(회원담당)
Tel : 02-553-0255(내선 3번) / E-mail : edit@theieie.org