

## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	Single-Photon Detectors/Sensors (단일광자 검출기/센서)
연구 과제명 (Project Title)	CMOS 공정 기반의 차세대 Single-Photon Avalanche Diode 연구 개발
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	Single-Photon Avalanche Diode (SPAD) 설계 및 특 성 측정
<p>Single-photon avalanche diode(SPAD)는 avalanche 효과를 이용한 매우 큰 gain 특성으로 single-photon (단일광자) level의 검출이 가능할 뿐만 아니라 우수한 timing jitter 성능을 보이기 때문에, photon counting 및 time-of-flight (ToF) 특성이 요구되는 응용분야에서의 필수 소자/센서입니다. 최근 각광받고 있는 응용분야의 예로는, 자율주행자동차, 드론, 로봇, 3D 얼굴/동작 인식 및 추적 등의 D-ToF (Direct ToF), LiDAR (light detection and ranging; 라이다) 응용분야 및 TOF PET (time-of-flight positron emission tomography), FLIM (fluorescence-lifetime imaging microscopy), NIRI (near-infrared imaging), super-resolution microscopy 등의 다양한 바이오 응용분야, 그리고 양자암호, 양자통신 등의 양자 응용분야를 들 수 있습니다.</p> <p>본 연수를 통해 학생연구원은 소자의 이론에 대해서 자세히 배우고 공부하는 것뿐만 아니라 제작된 소자들을 직접 측정하면서 보다 직관적인 이해력을 키울 수 있을 것이고, 다양한 측정방법에 대한 기술 및 노하우를 배울 수 있을 것입니다. 또한, 디바이스 시뮬레이션 방법을 배우고 각 소자에 대한 상세한 분석을 진행하며, 그리고 이와 더불어 소자의 모델링 연구를 진행하면서 소자의 동작 원리 및 성능 향상을 위해 요구되는 필수 부분들을 명확히 확인 및 파악할 수 있으리라 예상합니다. 추가적으로 반도체 소자 설계 방법을 배우면서, 이론 공부 및 모델링 연구를 기반으로 도출된 아이디어를 직접 설계 및 검증하면서, 본 연수과정 후에는 학생연구원 본인이 직접 소자의 설계부터 측정 및 분석, 검증까지 모두 수행할 수 있는 연구원으로 성장하게 될 것이라 기대됩니다.</p>	
소속 센터/단 명(Center) : 광전소재연구단  연수 책임자(Advisor) : 이명재	

## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	III-V compound semiconductor epitaxy
연구 과제명 (Project Title)	초저전력 이중접합 비휘발 광스위치 단위소자 개발
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	1550 nm InAlGaAs waveguide growth on InP
<p>본 과제는 다양한 III-V 물질을 분자빔 성장을 통해서 실리콘 기판위에 성장하는데, 목적은 중적외선 (mid-infrared) 레이저로 한다. 기존의 중적외선 레이저들은 보통 비싼 III-V 기판을 이용해 왔다. 예를 들어 quantum cascade laser는 InP 기판을 GaSb-based quantum well 레이저는 GaSb 기판을 사용한다. 하지만 본 과제에서는 고성능 mid-infrared 레이저를 실리콘 기판 위에 분자빔 성장 (Molecular beam epitaxy)을 통해서 구현하여, 가성비를 올리고 실리콘 포토닉스와 결합을 목표로 한다.</p> <p>일반적으로 III-V 물질 (GaP, GaAs, InAs) 같은 물질을 실리콘 기판 위에 직접 성장을 하면 여러 가지 고밀도 결점으로 인해서 물질 결정질이 떨어지게 된다. 예를 들어 threading dislocation, anti phase domain, rough surface 등이 생겨서 그에 따라 레이저 성능이 현격히 감소한다. 이를 극복하기 위해서 InAs 퀀텀닷을 이용해서 고성능 레이저가 실리콘 기판 위에 구현되었다. 하지만 구현 가능한 파장대가 1.3 micron 가 최대이고, 그 이상 구현하기 위해서는 새로운 퀀텀닷 물질이 필요하다.</p> <p>본 과제는 따라서 InAs 퀀텀닷 파장대를 뛰어넘는 새로운 물질 개발을 하여 고성능 중적외선 (2-3 micron) 레이저를 실리콘 기판 위에 성장하는 것을 목표로 한다. 연수 학생은 석박통합과정 동안 기본적인 분자빔 성장부터, 물질 분석 (SEM, TEM, AFM, HRXRD), 레이저 피직스, 레이저 공정과 분석을 배운다. 더불어 이 연구를 통해서 얻어지는 소자가 어떻게 기존의 실리콘 포토닉스 플랫폼에서 녹아들어 효율적으로 사용될지 산업적 이용성에 대해서도 공부한다.</p>	
소속 센터/단 명(Center) : 광전소재연구단 연수 책임자(Advisor) : 정대환	



## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	차세대 메모리 소자
연구 과제명 (Project Title)	스핀/양자현상을 이용한 초저전력 및 초고속 스핀 메모리 기술 개발
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	전기장 제어 초저전력 메모리 소자 개발
<p><b>1. 연구의 필요성</b></p> <p>빅데이터, 소셜네트워크, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅 등의 기술에 의해 생성되는 정보량은 기하급수적으로 증가하고 있음. 정보의 저장과 처리를 위해서 반도체 소자는 점차 고집적화되고 있는데 이로 인한 온도상승 및 에너지 소모 문제를 해결하기 위한 차세대 메모리소자에 대한 연구가 필요함. 스핀 메모리는 초저전력 구동 가능성과 정보 처리 속도 및 신뢰성 부분에서 큰 장점을 가지고 있어 가장 주목받는 차세대 메모리라고 할 수 있음.</p> <p><b>2. 연구개발 내용</b></p> <p>새로운 스핀/양자 현상을 이용한 스핀소자 원천기술과 첨단 측정 및 분석기술을 결합하여 고성능 모바일 기기, 빅데이터 처리용 초저전력 (~ fJ) 스핀 메모리를 개발하고자 함. 실용화 단계까지 와있는 스핀 메모리인 STT-MRAM도 비교적 저전력 동작이 가능하지만, 에너지적인 한계를 넘기위해서 전기장으로 자화상태를 스위칭을 하는 연구가 주목받고 있음. 현재 전기장으로 자성 특성을 제어하는 연구는 기초적인 단계에서 수행되고 있으며 그 메커니즘이 실험적으로 명확히 규명되지 않은 상태임. 전기장을 인가하면 자성 나노 구조의 계면 전자밀도, 3d 오비탈, 산화도 등의 변화로 자성 박막의 특성이 변화하는 것으로 예측되지만, 이들 메커니즘의 규명을 위한 연구는 거의 수행되지 않은 상태임. 본 연수를 통해서 학생연구원은 전기장에 의한 나노구조 자성의 가능성을 확인하고, 가장 효과가 큰 물질과 구조를 탐색하게 될 것이며 또한, 이온의 이동에 의한 산화 환원 반응 및 수소이온의 주입에 따른 자기이방성의 변화에 관한 연구를 진행하고 이를 응용한 소자를 구현하는 연구를 진행할 계획임.</p> <p><b>3. 구체적인 연수 내용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전자 및 자성 소자 관련 이론 습득</li> <li>- 스핀메모리 구현을 위한 실제 공정 진행 (중략부터 리소그래피까지 반도체 소자 제작 전반에 걸친 교육과 공정)</li> <li>- 제작된 소자를 이용한 다양한 측정 관련 실습 (재료분석, 제작된 소자의 전기적, 자기적인 특성 분석을 위한 전문적인 장비에 대한 교육 및 전문성 획득)</li> </ul>	
소속 센터/단 명(Center) : 스핀융합연구단 연수 책임자(Advisor) : 이 기 영	

## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	차세대 자성메모리소자(MRAM) 연구
연구 과제명 (Project Title)	자가생성 스핀 전류로 구동하는 자기 메모리 소자
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	스핀 토크 자성 소자 제작 및 평가
<p>(연수 내용)</p> <p>강자성층(반강자성층)/비금속으로 구성된 다층 자성 박막을 이용한 스핀 소자에서 발현되는 스핀 토크 현상의 원인을 이해, 이를 바탕으로 스핀 방향 제어를 효율적으로 할 수 있는 방법을 탐색하고 관련 소자를 제작한다.</p> <p>스핀 소재 제작 기술</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 다층 자성 박막 제작 (스퍼터링, 이빔이베퍼레이션)</li><li>- 자성 박막 물성 측정 (VSM, 광학적, 전기적 신호 측정)</li></ul> <p>스핀 소자 제작 기술</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 이빔 리소 및 포토 리소 공정</li><li>- 아이언 밀링</li></ul> <p>스핀 소자 특성 평가</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 광자기 특성 평가 (MOKE)</li><li>- 자화 특성 평가 (VSM)</li><li>- 전기적 신호 측정 (PPMS, RF 측정법)</li></ul>	
소속 센터/단 명(Center) : 스핀융합연구단 연수 책임자(Advisor) : 한동수	

## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	양자컴퓨팅
연구 과제명 (Project Title)	Large-scale 양자컴퓨팅 원천기술 개발
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	고체점결함 스핀 기반 양자큐비트 연구
<p>(연수 내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다이아몬드 NV센터는 잘 고립된 양자스핀을 가지고 있으며, 이를 활용하면 인접한 핵스핀들을 포함하여 다중 큐비트 클러스터를 구현할 수 있음.</li> <li>- 다이아몬드 NV센터 스핀을 양자컴퓨터를 위한 큐비트로 활용하기 위해서는 스핀 양자상태 초기화, 상태제어, 측정기술이 요구됨.</li> <li>- 본 연수과정에서는 다음과 같은 일련의 연구를 수행할 예정임.               <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 광학적 펌핑 기술을 통한 NV 센터 전자스핀 초기화</li> <li>2) NV 센터 전자스핀 결맞음 제어를 위한 Dynamic decoupling 기법 연구.</li> <li>3) 고품질 NV 센터 전자스핀과 인접한 핵스핀간의 hyperfine coupling 연구 및 이를 이용한 핵스핀 초기화 연구.</li> <li>4) 다중 스핀 큐비트들의 정밀 측정기술 연구.</li> </ol> </li> <li>- 본 연수를 통해 연수학생은 다이아몬드 점결함 큐비트 측정 기본 기술은 ODMR (optically detected magnetic resonance) 측정기술을 습득할 것이며, 이러한 테크닉을 통해 최신 양자컴퓨팅 연구를 수행할 것임.</li> </ul>	
<p>소속 센터/단 명(Center) : 양자정보연구단</p> <p>연수 책임자(Advisor) : 조영욱</p>	



## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	양자정보 및 양자광학
연구 과제명 (Project Title)	다차원 양자상태 기반의 양자시뮬레이션
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	다차원 양자상태 준비 및 이를 이용한 양자정보 실험 연구 수행
<p>○ 비선형 결정에서 자발매개하향변환 (SPDC) 과정에 대한 이해</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자발매개하향변환에서 위상정합 조건에 대한 이해</li> <li>- Bulk 결정 대비 Periodic poling된 결정에서 나타나는 준위상정합 조건에 대한 이해</li> </ul> <p>○ PPKTP 결정을 이용한 고효율 편광얹힘상태 연구 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온도 안정화, focusing &amp; coupling lens 조합 등을 조절하여 단위 시간당 생성된 광자의 개수를 최대화하는 조건 찾기</li> <li>- Sagnac 간섭계 등을 이용하여 안정적으로 많은 수의 광자쌍을 생성할 수 있는 편광얹힘광원의 연구 개발</li> <li>- 동시에 생성된 두 광자의 구별가능성(distinguishability)을 최소화하여 이광자 양자간섭을 할 수 있는 유용한 양자광원 연구 개발</li> </ul> <p>○ 다차원 양자얹힘 상태 준비</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 편광, 경로, 시간 큐비트 등 광자의 다양한 자유도를 이용하여 다차원 양자상태 준비</li> <li>- 단일 다차원 양자상태를 넘어 양자정보 실험에 사용할 다차원 양자얹힘상태 준비</li> </ul> <p>○ 광자 기반의 다양한 양자게이트 및 양자알고리즘 구현</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Controlled-NOT 게이트 등 다양한 양자게이트를 구현</li> <li>- 양자게이트를 조합하여 양자알고리즘을 실험적으로 구현함</li> <li>- 유용한 양자알고리즘 제안 및 개발</li> </ul> <p>○ 연구개발한 양자얹힘 광원을 이용하여 최신의 양자정보연구를 수행함</p>	
<p>소속 센터/단 명(Center) : 양자정보연구단</p> <p>연수 책임자(Advisor) : 임향택</p>	

## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	신경모사소자
연구 과제명 (Project Title)	신경모사 반도체 신소자 개발
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	신경모사 반도체 소자 설계, 공정, 측정
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현재 본 연구실에서는 실리콘 기반 신경모사 컴퓨팅 시스템의 문제점인 집적도 한계 및 낮은 에너지 효율 문제를 해결하기 위하여, 비 실리콘 기반의 신소자를 활용한 신경모사 소자를 개발하는 연구를 진행하고 있음.</li> <li>• 이를 위하여, 연수 학생에게 신경모사 소자가 갖추어야 할 특성 및 현재 진행중인 신소자 기반 신경 모사 연구 동향에 대한 교육을 진행할 예정임.</li> <li>• 또한, 본 연구실에서 진행중인 칼코지나이드 소재 기반 신경모사 신소자 연구에 참여하여, 신소자 개발을 위한 소자 공정, 측정 등에 연수 학생이 참여할 계획임.</li> </ul>	
<p>소속 센터/단 명(Center) : 전자재료연구단</p> <p>연수 책임자(Advisor) : 이수연</p>	

## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	이머징 소자 기반 인공신경망 시스템 개발
연구 과제명 (Project Title)	SNN 기반의 멀티스케일 뉴로모픽 시스템 개발, Sub-pJ 스파이킹 인공 신경망 기술
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	인공신경망용 소자 및 알고리즘 개발
<p>■ 연수 내용</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 뉴로모픽 시스템을 위한 비정질 실리콘 기반 멤리스터 소자 제작 및 평가 → 최근 주목 받고있는 a-Si 기반 멤리스터 소자의 아날로그 특성 개선 원인 분석 및 co-sputtering을 통한 추가 성능 개선 연구 진행</li> <li>2. 이온거동 해석 및 소자 특성 제어 기술 개발 → 이온 거동 분석 방법을 활용한 멤리스터 소자 분석 진행</li> <li>3. 파이썬 기반 스파이킹 인공 신경망 (Spiking Neural Network) 시뮬레이션을 통한 알고리즘 성능 개선 연구 → SNN에서 비지도 학습 기반 특성 분석을 통해 지도 학습 기반 알고리즘의 성능 개선 연구 → SNN 기반 Grid cell 생성 알고리즘 연구</li> </ol>	
<p>소속 센터/단 명(Center) : 전자재료연구단</p> <p>연수 책임자(Advisor) : 정연주 선임연구원</p>	



## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	뉴로모픽 소자개발
연구 과제명 (Project Title)	SNN기반의 멀티스케일 뉴로모픽 시스템 개발
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	2D 소재기반의 소자 제작, 측정 및 분석
<p>- 본 과제에서는 뉴로모픽 하드웨어 개발을 위한 소자 연구를 진행함</p> <p>- 주로 2D 소재를 활용예정이며 동시에 다른 물리적 특성을 지닌 소재와 결합하여 소자제작 진행함</p> <p>- 이머징 소자를 이용한 array 제작 및 적용</p> <p>- 뉴로모픽 알고리즘 연구</p> <p>- 연수내용</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2D 기반의 소재 (예: Graphene 및 TMDC 등)에 대한 물리적, 광학적 이해 및 분석</li> <li>2. 분석툴 (Raman, AFM, SEM, TEM 등)에 대한 이해</li> <li>3. 소자 제작을 위한 mask 제작부터 annealing까지 이해</li> <li>4. Etching, deposition, ALD 등의 장비 활용</li> <li>5. 2D 소자 제작을 통한 물리적, 광학적 실험</li> <li>6. 뉴로모픽 소자특성 측정기기 (probestation) 사용법 이해 및 측정</li> <li>7. 뉴로모픽 소자의 data 분석 및 향상</li> <li>8. 대규모 array 구조로 확장시켜 뉴로모픽 시스템 적용 및 알고리즘 연구 진행</li> <li>9. 연구 논문/특허 작성</li> </ol>	
<p>소속 센터/단 명(Center) : 전자재료연구단</p> <p>연수 책임자(Advisor) : 곽준영</p>	

## 연수 제안서(Training Proposal)

연구 분야 (Research Fields)	광-전 박막 소재
연구 과제명 (Project Title)	수요대응형 태양광모듈 구현을 위한 비접촉식 박막미세가공 기술 개발
연수 제안 업무 (Training Proposal Work)	광-전 박막 합성 및 평가
<p>(연수 내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 박막태양전지용 투명전극 소재 합성 및 후처리             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 마그네트론 스퍼터링,</li> <li>- 전자빔 증착</li> <li>- 열처리</li> </ul> </li> <li>○ 투명전극 소재 특성평가             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 박막의 전기적 특성 평가</li> <li>- 박막의 투과 반사 특성 및 광학 상수 분석</li> <li>- 박막의 구조 및 조성 분석</li> </ul> </li> <li>○ 박막태양전지 고효율화를 위한 고이동도 투명전극 소재 연구</li> <li>○ 박막태양전지 모듈화 공정을 위한 박막의 레이저 가공</li> </ul>	
<p>소속 센터/단 명(Center) : 전자재료연구단</p> <p>연수 책임자(Advisor) : 김원목</p>	