

그간 본 특집에서는 5회에 걸쳐 미래에 떠오를 'Emerging Technologies' 주제와 관련하여 정보통신 연구진흥원(IITA)에서 지원하고 있는 미래원천기술개발 내용을 소개하였다. 현재 산업계에서 통용되고 있는 기술에 본 개발내용이 새롭고 다양하게 접목 활용되어 산업계의 신성장동력을 위한 원천기술로서 큰 역할을 해낼 수 있기를 희망하며 본 특집을 마무리한다.

# Special Report

## Emerging Technologies Series V

# 전기적점프-신소자

- I. 중요성 및 문제점
- II. 현황 및 접근방법
- III. 연구개발 목표 및 내용
- IV. 연구개발 추진체계 및 방법
- V. 기대성과
- VI. 추진 일정계획
- VII. 활용(산업화) 방안

### I 중요성 및 문제점

#### 가. 연구개발과제의 중요성

1948년 영국의 물리학자인 Mott(노벨상수상자)가 강상관 전자계(strongly correlated electronic system)에서 급격한 (혹은, First-order) 금속-절연체 전이(Metal-Insulator Transition : MIT) 이론을 발표한 이래, 이와 같은 MIT 현상이 강상관 물질에서 실제로 급격하게 일어나는지, 아니면 연속적으로 일어나는지를 규명하는 연구와 MIT 현상이 20세기에 발견된 산화물 고온초전도체나 거대 자기저항 물질 등이 보여주는 핵심물성의 생성원리와도 맞물리면서, 최근까지 가장 중요한 현대고체물리학의 미제로 남아 있었다. 이러한 문제가 해결된다면, 학문적 지식발전에 큰 획을 그을 수 있고, 과학기술 분야에도 큰 영향을 미쳐 새로운 기능소자와 응용분야 등을 탄생시켜 신성장 산업을 유발할 수 있을 것이다.



장선호 기술역



이민경 연구원



김현탁 책임연구원

장선호 기술역/공학박사 chans@iita.re.kr, 이민경 연구원 leemk@iita.re.kr  
 정보통신연구진흥원 IT부품/융합기술 전문위원실  
 김현탁 책임연구원/공학박사, 연구책임자 htkim@etri.re.kr, 한국전자통신연구원

전기장에 의한 급격한 금속-절연체 전기적 Jump 현상은 많은 응용에 적용될 수 있다. 특히 전기·전자시스템에서 정격 신호 전압보다 큰 고속잡음신호는 전원선을 타고 들어와서 전기·전자시스템을 파괴시킨다. 이 경우에 급격한 금속-절연체 전이 현상은 정격신호 이상의 잡음신호를 바이패스시켜서 전자 시스템을 보호할 수 있다. 전자시스템에서는 이 소자는 어떤 중요 IC를 지키는 역할도 할 수 있다. 전자시스템에 대한 잡음 제거시장의 규모는 연간 1억달러 이상이 된다. 그리고 전기 시스템에서 변전소, 가정용 전기기기, 뚜꺼비 집 등 수많은 곳에 적용이 가능하다.

20세기 전자공학의 꽃인 반도체 트랜지스터의 집적도를 높이는 기술이 계속 개발되어 실험실에서 채널길이 20nm정도까지 실현되고 상용화는 40~50nm까지 가능한 것으로 알려졌었다. 이것은 채널이 작아지면 게이트 절연체에 누설전류가 증가하게 되고, 가령 게이트가 만들어진다고 해도 반도체의 면적이 작아져서 수용할 수 있는 전류의 크기가 작아서 소자로서 사용하는데 어려움이 있다. 이것은 반도체 소자의 한계로 알려졌으나 MIT의 점프 특성을 이용하면 그 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대한다. 현재 사용되고 있는 전기의 대부분은 교류전기이나 컴퓨터와 같은 전자제품은 직류전원을 사용하고 있다. 직류전기가 교류전기보다 좋은 것은 널리 알려져 왔으나 교류를 직류로 바꾸고 직류전압을 변환하는 데는 많은 어려움이 있다. 현재 반도체 재료로 만들어진 반도체 전력용 스위칭 소자는 큰 전류를 흘리기 위해 단면적을 넓게 하고 열이 나서 냉각을 시키기도 하는데 MIT 소자는 반도체 보다 저항이 작은 금속 특성을 이용하므로 반도체 소자의 크기와 동일크기를 비교할 때 수십배 이상의 전류가 흐를 수가 있다. 직류전원을 스위칭하여 전압변화를 일으킬 수 있는데, 이 특성을 이용하면 보다 작고 열이 발생되지 않는 스위칭 소자를 제작할 수 있다. 핸드폰 및 노트북용 이차전지와 연료전지의 경우 충전상태에서 온도가 상승하면(>100°C) 전지가 부풀어 오르는(폭발) 현상과 전지의 충전시 과충전 현상을 제대로 해결하기 위하여 급격한 금속-절연체 전기적 Jump현상을 이 분야에 적용하여 문제를 해결하려고 한다.

전기적 Jump현상 연구의 또 다른 중요한 응용분야는 혁신

적인 MMIC에 응용 분야를 들 수 있다. MMIC를 구성하고 있는 능동소자와 수동소자 중 능동소자는 주로 신호의 증폭에 기여하므로 반도체 또는 전기적 Jump형 트랜지스터를 사용해 효과적이고, 손실이 많은 수동소자나 배선에는 금속-절연체의 금속상을 유지한 채 RF 신호가 흘러가게 하면 손실을 극적으로 줄일 수 있으므로 새로운 MMIC를 얻을 수 있다. 그리고 MIT 소자의 스위칭 속도는 Tera Hz급으로 알려져 있기 때문에 이러한 특징들을 잘 활용하면 혁신적인 MMIC를 얻을 수 있다. 이 분야는 계속 새롭게 실험/분석할 필요가 있다. 광 스위칭 소자는 차세대 광통신 및 광 네트워크 라우팅에서 핵심적으로 사용되는 소자로서, 그 스위칭 속도가 매우 중요하다. 전기적 Jump 현상이 일어나는 산화물 박막은 금속-절연체 상전이가 발생하기 전에는 절연체 특성을 가져 빛의 투과도가 높지만, 전기적 Jump 특성이 발생하게 되면 금속 특성을 보이며 거의 모든 파장의 빛을 반사시켜 상대적으로 투과도가 낮아지게 된다. 그리고 이러한 투과도의 변화는 매우 빠른 속도로 일어나게 된다. MIT 박막 소자의 빠른 광 투과 특성 변화를 이용하면, 전기적 펄스에 의해 박막 소자에 투과되는 광을 초고속으로 투과 및 차단할 수 있는 광 스위치 제작이 가능하다. 따라서 본 연구수행은 초고속 광 스위치 분야에도 큰 중요성을 제공할 수 있다.

전기적 Jump현상 연구의 또 다른 응용은 RF 부분의 진동자이다. 이것은 전기장에 따른 전기적 Jump 현상을 이용하면 수십 Giga Hz의 진동 신호를 얻을 수 있다. 이 진동을 이용하면 RF용 신호발생기를 만들 수 있다. 전기적 Jump현상 소자의 재료는 다양하게 있으므로 값이 저렴한 산화물을 사용하면 기존 시장을 대체할 수 있다. 전기적 Jump현상 연구의 또 다른 응용은 RF 스위치이다. 이것은 전기장에 따른 전기적 Jump 현상을 이용하면 외부에서 들어오는 RF 신호를 열어주고 닫는 역할로서 무선신호에 필요한 필수소자이다. 지금까지는 이런 소자가 복잡한 형태로 만들어지고 있는데, 이것 또한 값이 저렴한 산화물을 사용하면 기존 시장을 대체할 수 있다.

금속-절연체 전기적 Jump 이론을 산업적으로 활용하기 위해서는 새로운 전기적 Jump 현상소재의 개발이 시급하다. 비교적 낮은 온도(67°C)에서 상변화가 일어나 저항이 크게 낮아

지는 VO<sub>2</sub> 는 활용 분야에 한계가 있으므로 제품이 동작하는 환경에 영향을 받지 않을 정도로 열에 강하며, 전계에 의해 전기적 Jump 현상을 잘 나타내는 신소재의 개발은 전기적 Jump 기술의 상용화를 위해서 반드시 달성해야 할 핵심적인 목표라고 할 수 있다.

본 과제에서는 상기한 연구과제들에 더하여, 실용 제품에 적용될 수 있는 기술로서 220V 가정용 전기에 타고 들어오는 잡음제거용 MoBRik 소자, 전지 폭발 방지용 보호회로, 전기 및 광을 이용하는 3단자 전기적 Jump 소자들을 집중적으로 개발한다.

## 나. 연구개발과제 수행결과 기대효과

### ● 기술적 기대효과

- 반도체 소자의 한계를 극복하는 Jump 소자 및 고감도 센서의 개발
- 선진국의 센서 검지부 기술 보호 장벽 타파
- SoC 기반의 시스템 응용 기술 확보

주요 기술분야	기술 선도국 및 기업/연구소	구분	기술격차(년)	상대적 수준(%)
VO <sub>2</sub> 기반 3단자 스위치	ETRI	현재		비교대상 없음
		종료연도	3~5년 이상	
신소재로 프로그래머블 임계온도 스위치	ETRI	현재		비교대상 없음
		종료연도	3~5년 이상	
대전류 제어용 스위치 소자 개발	ETRI	현재		비교대상 없음
		종료연도	3~5년 이상	
Jump 스위치 Array 소자 (대전류 제어용: 전기, 광)	ETRI	현재		비교대상 없음
		종료연도	3~5년 이상	
전자시스템용 Jump 비리스터 (6KV 이하)	ETRI	현재		비교대상 없음
		종료연도	3~5년 이상	

### ● 경제적 기대효과

- 2015년 스위칭 소자 및 센서 시장 규모
  - 전력반도체 시장 : 185억달러(2015년)
  - 과전압/과전류 보호회로 시장 32억달러(2015년)
  - 프로그래머블 임계온도 스위치 시장 규모는 현재 조사중

- 스텝모터제어용, 고전류 증폭용 트랜지스터 시장 규모는 현재 조사 중

※ 위 시장은 기존의 시장규모이며, Jump 소자 출하시 위 시장의 일부를 잠식할 것으로 예상함

### ● 기타 기대효과

학문적으로 물리학의 미제였던 Jump 원리의 규명은 곧장 고온초전도체 생성원리의 규명으로 이어질 수 있으므로, 본 Jump 연구는 고체물리학의 발전에 크게 기여하게 될 것이며 Jump 라는 새로운 과학기술 영역을 탄생시키게 되는 계기로 과학기술적/기술응용 분야에서도 큰 진보가 기대된다.

Jump 현상의 규명은 Jump 기술(소자 및 응용 등)의 탄생으로 이어지게 되고, 특히 금속을 제어할 수 있는 스위치, 차세대용 비휘발성 상변환 메모리, 자성체 메모리, 금속 특성을 이용하는 태양전지 및 연료전지, 밀리미터파(THz-파) 통신용 광게이트(모듈레이터), 홀로그램, 임계온도 센서, Two-color Indicator, 전류제어형 Inductor, 그리고 적외선 검출기, 적외선 및 가시광선 광원 분야, RF 소자분야에서 커다란 기술적 진보를 이룩할 수 있을 것이다. 그리고 21세기의 최대 화두인 나노기술과 결합된 전자소자, 메모리, 전지, 광산업, 센서산업, 통신산업 등에도 크게 기여하게 될 것이다.

## II 현황 및 접근방법

### 가. 국내·외 현황

#### ● 세계 기술현황

러시아의 Stefanovich 그룹은 바나듐계 재료를 사용하여 온도에 따른 급격한 금속-절연체 전이를 연구하였으며, 미국 Stanford 대학교의 Ovshinsky는 저저항의 결정상과 고저항의 비정질상을 이용한 상변환 메모리 (Phase Change Memory: PCM) 연구를 약 30년 전에 처음 수행하였다. 그러나 이것은 온도에 따른 금속-절연체 전이 현상보다 구조 상전이 (Structural Phase Transition: SPT) 현상을 이용한 것이다.



외국의 반도체 회사들의 대부분은 상변화 메모리를 연구하고 있는데 상변화 연구는 구조 상전이로 해석되고 있지만, 본 과제 제안은 구조 상전이가 없는 금속-절연체 전이(MIT)라는 점에서 크게 차별화 된다. GST라는 물질에서 불연속 점프를 MIT라고 하지 않으면서 차세대용 메모리인 PCM(Phase Change Memory), ReRAM 등의 연구를 하고 있는데, 대표적으로는 일본의 강상관 연구센터, 스웨덴의 왕립기술연구소, 인텔, 등 선진국의 국립연구소들에서 연구하고 있으며, MIT 스위칭 소자연구는 세계적으로 사례를 찾아 볼 수 없다.

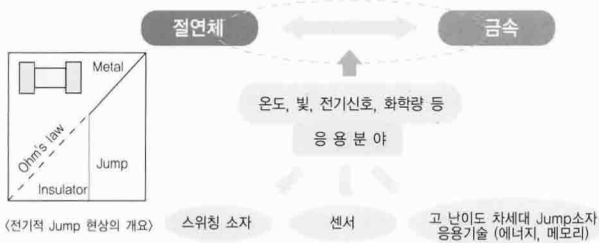
● **국내 기술현황**

금속-절연체 전이에 관한 연구는 서울대학교, KAIST, 포항공대를 비롯하여 국내연구자들이 학문적으로 연구를 수행하고 있다. 그러나 본 과제에서 다루는 구조변화에 의하지 않는 금속-절연체 전기적 Jump 현상에 관한 연구를 수행하는 곳은 ETRI가 유일하며, 현재, 국내의 삼성전자 연구그룹, 하이닉스 연구그룹은 상변화 메모리 소자를 제작하기 위해 공정연구를 진행하고 있다. 한편, 이 분야는 원천기초기술 개발단계이므로 표준화가 없으나 본 과제가 성공할 때 국제표준화를 선도할 수 있을 것으로 예상된다.

**나. 핵심요소 및 접근방법**

● **핵심요소**

- 개념: Jump는 외부자극에 의해 구조 상전이 없이 불연속으로 어떤 절연체가 금속으로 전이 되는 현상으로, 전이 근방에서 초고속, 고감도 특성을 보임



※ 구조 상전이 : 물질의 특성이 변할 때 구조도 함께 변하는 것 (얼음·물)  
 ※ 대전류 : 전류밀도가 105 A/cm<sup>2</sup> 이상임

〈그림 1〉 전기적 Jump 특성 및 핵심요소기술의 응용분야

- 정의: 전기적 Jump기술은 모트 절연체에 온도, 전기장, 압력, 화학변화 등을 가하여 Current Jump 현상을 일으키며, 이러한 Jump 현상에 수반되는 대 전류를 제어하고 감지하는 스위칭 소자와 고감도 센서 및 관련 응용시스템을 개발하는 것
- 핵심아이디어: 전기적 점프는 전류가 매우 적게 흐르는 영역에서 전류가 많이 흐르는 상태로 급격히 일어나므로 이 영역을 이용하면 발열을 최소화 하면서 대전류를 제어할 수 있음
- 전기적 점프용 이산화바나듐옥사이드 박막(대표적인 모트 절연체)으로 소자를 제조함
- 이산화바나듐옥사이드 이외의 재료에서 전기적 점프가 가능한 새로운 재료 발굴
- 단위 소자를 어레이화하여 대전류 (전류밀도 10<sup>5</sup> A/cm<sup>2</sup> 이상) 제어용 스위치를 개발함

● **접근방법**

- Hole-driven MIT 이론에서 예언된 저 농도의 정공이 첨가된 반도체 및 강상관 물질들에서 MIT현상을 관측하고 그 물질의 응용 가능성을 조사함
- MIT 물질의 박막화 공정, 소자공정 기술을 개발하여 소자의 MIT의 스위칭 및 온도 특성을 관측하여 소자의 신뢰도를 계속 검증 확인 함
- 반도체 한계극복용 나노 스위치는 e-beam 리소그래피 기술로 소자를 제작하여 스위칭 특성을 분석 조사함. 그리고 소자 스케일 다운을 계속하여 세계 최고기록에 도전함
- 전력용 MIT 스위칭 소자는 어레이 형태로 제작하여 대전류의 스위칭 실험을 반복적으로 수행하여 열발생 문제를 계속 조사하면서 대전력용 시스템의 적용 가능성을 확인할 예정임

**다. 혁신성과 독창성**

본 개발기술은 Hole-driven MIT 이론에 기초한 전기적 점프를 이용하는 것으로 MIT 물질에 저 농도의 정공을 첨가하여 전기적 점프를 유도해 내고, 그 정공을 제어하여 3단자 소자를

개발하는 것으로 독창성이 있으며 또한 이것은 기존의 반도체 기술로는 성취할 수 없는 것으로서 최초로 구현해 내는 기술로서 혁신성을 갖고 있다.

### III 연구개발 목표 및 내용

#### 가. 최종목표

구 분	내 용
최종목표	<p><b>Jump 현상규명, 신물질, 스위칭 응용기술, 새로운 응용분야 개발</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MIT 소자와 트랜지스터 복합 임계온도 스위치</li> <li>• Jump 3단자 전기 스위치(10mA, On-Off 150~300 kHz)</li> <li>• 전자시스템 보호용 접음제거소자 (10 kV 이하)</li> </ul>
세부목표	<p><b>전기적 점프를 이용한 신소자</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5인치 비VO<sub>2</sub>계 대면적 박막 개발</li> <li>• MIT 소자와 트랜지스터 복합 임계온도 스위치</li> <li>• VO<sub>2</sub> 이용 3단자 스위치 개발</li> <li>• 비VO<sub>2</sub>계 소재로 프로그래머블 임계온도 스위치 개발 (90°C 이하, 120°C 이하)</li> <li>• 대전류 제어용 3 단자 스위치 개발(10mA, On-Off 150~300 kHz)</li> <li>• 비VO<sub>2</sub>계 소재로 전자시스템 고속고전압 접음제거소자 개발 (10 kV 이하)</li> <li>• Jump 현상규명 및 차세대소자기술 개발</li> </ul>

신소재 기반의 전자시스템 제어용 스위칭 소자 (10mA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 차세대 Jump 소자 및 Jump Mechanism 연구 (강상관, 강자성, 반도체 재료)</li> <li>• 신소재(Ge, Be-Doped GaAs, ZnO, 기타) 고품질 박막 제조 기술개발 (2 인치)</li> <li>• 신소재용 전극 기술 개발</li> <li>• 신소재 이용 PCTS 개발 (120°C 동작)</li> <li>• VO<sub>2</sub> 및 신소재 기반의 3단자스위치 (5mA)</li> <li>• Jump 소자 이용 전자시스템 보호용 고속고전압 접음 제거소자(2 KV)</li> </ul>
2차년도	<p><b>(주요결과물)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2인치 신소재 (Ge, GaAs계, 기타, 탁) 웨이퍼</li> <li>• PCTS (120°C)</li> </ul> <p>※ Programmable Critical Temperature Switch(PCTS)</p>
1단계 (2008~2010)	
3차년도	<p>대전력을 적외선 (1.5μm) 이용 Jump 스위칭 소자 개발</p> <p><b>(주요결과물)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jump 소자 이용 전자시스템 보호용 고속고전압 접음제거 소자 (10KV)(바리스터)</li> <li>• PCTS (120°C) 기술이전</li> </ul>
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신소재(Ge, Be-Doped GaAs, ZnO, 기타) 박막 제조 시스템 설치 (5~6 인치)</li> <li>• VO<sub>2</sub> 및 신소재 기반의 3 단자 전기 스위치 고성능 (10mA)</li> <li>• Jump 소자 이용 전자시스템 보호용 고속고전압 접음 제거소자 (10 KV)</li> </ul>

#### 나. 연차별 연구개발 목표 및 내용

구 분	목 표	내 용
1단계 (2008~2010)	1차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 차세대 Jump 소자 및 Jump Mechanism 연구 (강상관, 강자성, 반도체 재료)</li> <li>• 신소재 (Ge, GaAs계, ZnO, 기타) 박막제조기술 개발(2인치)</li> <li>• 신소재용 전극기술 개발</li> <li>• 신소재 이용 PCTS 개발 (90°C 이하 동작)</li> <li>• MIT 소자와 트랜지스터 복합 임계온도 스위치</li> <li>• VO<sub>2</sub> 및 신소재 기반의 3 단자 스위치 소자 구조</li> <li>• VO<sub>2</sub> 및 신소재 기반의 3 단자 스위치(2mA)</li> <li>• 5 인치 VO<sub>2</sub> 박막제조기술 개발</li> </ul>

### IV 연구개발 추진체계 및 방법

#### 가. 총년도(1단계 (2008~2010))

##### • 연구개발추진체계

- 전기적 Jump 현상의 이론과 급격한 Jump를 이용한 응용 소자 원천기술을 보유하고 있는 ETRI를 본 과제의 주관연구기관으로 하고, 강상관 물질에 연구경험과 기술을 보유하고 있는 대학과 연구기관과의 위탁연구로 공동연구 체제를 구축함
- Jump 현상규명, MIT 신물질 연구를 통해서 새로운 응용 전자소자 구조개발 및 응용전자소자 제작기술 확립함



최종목표 : Jump 현상규명, 신물질, 스위칭 응용기술, 새로운 응용분야 개발 (개발종목)  
 • 90°C 이상 온도(90, 120°C)프로그래머블 일체온도 스위치(PCTS)  
 • Jump 3단자 전기 스위치(100mA, On-Off 150~300 kHz),  
 • 전자시스템 보호용 접음제거소자 (10 KV 이하)

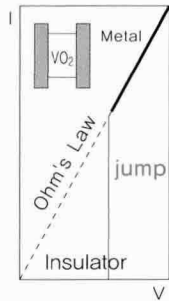
제안자의 Hole-Driven MIT 이론

전기적 Jump 연구

- VO<sub>2</sub> 박막(08), 신물질 박막
- 산화물, 반도체 재료 (GaAs, Ge)
- 전기적 점프의 스위칭 특성
- 초고주파 진동 특성

전자소자 응용기술

- 대전류제어용 스위칭 소자 기술 (VO<sub>2</sub> 기반의 3단자 소자 (전기, 열))
- 스위칭 메커니즘, 직렬 열 어레이 소자 구조 연구
- 분야별 응용 MIT 전자소자 설계
- 차세대 MIT 핵심응용기술 개발



응용전자소자 제작기술

- MIT 소자공정기술
  - E-beam 나노 패터닝기술
  - 박막공정(PLD, Sputtering, MBE 등)
  - 대면적 에피 성장기술
  - 전극 배선 공정기술
  - 건식 및 습식 식각공정기술
- 소자 집적화 공정기술
- 소자 및 공정 시뮬레이션
- 측정 분석기술
  - 박막특성분석
  - 고속, 스위칭 특성분석

결과물 : VO<sub>2</sub> 기반의 3단자 소자, 특허, 논문, 기술이전

### ● 연구개발방법

- 급격한 전기적 Jump 이론을 기반으로 스위칭 Mechanism 확립 및 구조 설계
- VO<sub>2</sub> 대면적 박막, VO<sub>2</sub>가 아닌 전기적 점프특성을 보이는 반도체 박막제조
- 위 재료로 어레이 스위칭 소자 제조 및 특성 평가
- 온도 스위치용 MIT 소자와 트랜지스터 복합소자 개발
- 전기적 점프 현상 규명을 위해 국내대학 및 국외위탁으로 공동연구 추진
- 개발된 기술은 상용화를 위해 기업에 기술이전

### 나. 당해단계

#### ● 연구개발추진체계

- 총 년도 추진체계에서 반도체 재료이용 전기적 점프 특성 박막제조 분야에 역점을 둠
- VO<sub>2</sub> 기반의 3단자 전기 스위치에 역점을 둠
- 5인치 VO<sub>2</sub> 박막제조에 역점을 둠

### ● 연구개발방법

- Hole-driven MIT 이론을 기반으로 스위칭 Mechanism 확립 및 구조 설계
- VO<sub>2</sub> 5인치 박막, Be-GaAs, Ge에서 전기적 점프특성을 보이는 2인치 박막제조
- 위 재료로 단위 스위칭 소자 제조 및 특성 평가
- 전기적 점프 현상 규명을 위해 국내대학 및 국외위탁으로 공동연구 추진
- 개발된 기술은 상용화를 위해 기업에 기술이전

## V 기대성과

### 가. 기술적 측면

**반도체 한계극복용 PCTS 나노스위칭 소자개발** : 20세기 전자공학의 꽃인 반도체 트랜지스터의 집적도를 높이는 기술이 계속 개발되어 실험실에서 채널길이 20nm정도까지 실현되고 상용화는 40~50nm까지 가능한 것으로 알려져 왔다. 이것은 채널이 작아지면 게이트 절연체에 누설전류가 증가하게 되고, 가령 게이트가 만들어진다고 해도 반도체의 면적이 작아져서 수용할 수 있는 전류의 크기가 작아서 소자로서 사용하는데 어려움이 있다. 이것은 반도체 소자의 한계로 알려져 왔으나, MIT의 점프 특성을 이용하면 그 한계를 극복할 수 있을 것이다.

**대전류 제어용 스위칭 소자의 탄생** : 현재 사용되고 있는 전기의 대부분은 교류전기이나 컴퓨터와 같은 전자제품은 직류전원을 사용하고 있다. 직류전기가 교류전기보다 좋은 것은 널리 알려져 왔으나 교류를 직류로 바꾸고 직류전압을 변환하는 데는 많은 어려움이 있다. 현재 반도체 재료로 만들어진 반도체 전력용 스위칭 소자는 큰 전류를 흘리기 위해 단면적을 넓게 하고 열이 나서 냉각을 시키기도 한다. 그런데 MIT 소자는 반도체 보다 저항이 작은 금속 특성을 이용하므로 반도체 소자의 크기와 동일크기를 비교할 때 수십배 이상의 전류가 흐를 수가 있다. 직류전원을 스위칭하여 전압변화를 일으킬 수 있으며 이 특성을 이용하면 보다 작고 열이 발생되지 않는 대전류 제어용 스위칭 소자를 제작할 수 있다.

## 나. 경제 산업적 측면

반도체 소자의 한계를 극복하는 나노급 전자소자는 나노급 메모리 및 스위치 시장에서 큰 경제적 기대효과를 얻을 수 있을 것이며, 대전류 제어용 스위칭 소자는 전력반도체 시장의 일부를 대체할 수 있으므로 그 분야에서 큰 경제적 기대효과를 얻을 수 있을 것이다.

주요 Milestone 완성점에서의 수행결과물	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인치 VO<sub>2</sub> 웨이퍼 및 기술이전</li> <li>• VO<sub>2</sub> 기반의 3단자 스위치 탄생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2인치 신소재 (Ge, Be-Doped GaAs, 기타, 택1) 웨이퍼</li> <li>• PCTS (120°C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jump 소자 이용 전자 시스템 보호용 고속 고전압 접음 제거 소자(10kV) (바리스터)</li> <li>• PCTS (120°C) 기술이전</li> </ul>
------------------------------	---	---	---

## VI 추진 일정계획

### 가. 총괄 추진일정

연구내용	연 도						비고
	1 단계						
	1차년도(2008)		2차년도(2009)		3차년도(2010)		
상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기		
• 차세대 Jump 소자 원리, 그 메카니즘 연구 (강상관, 강자성, 반도체 재료)	→						
• 신소재 (Ge, GaAs계, ZnO, 기타) 박막 제조기술개발(2인치) 및 특성연구	→						
• MIT + 트랜지스터 복합소자 개발	→						
• 신소재 이용 PCTS 개발 (90°C 동작)	→						
• VO <sub>2</sub> 신소재 기반 3단자 스위치 (2mA)	→						
• 5 인치 VO <sub>2</sub> 박막 제조 기술 개발	→						
• 차세대 Jump 소자 원리, 그 메카니즘 연구(강상관, 강자성, 반도체 재료)		→					
• 신소재 (Ge, GaAs계, ZnO, 기타) 박막 제조기술 개발(2인치)		→					
• 신소재용 전극 기술 개발		→					
• 신소재 이용 PCTS 개발 (120°C 동작)		→					
• VO <sub>2</sub> 신소재 기반의 3단자스위치 (5mA)		→					
• Jump 소자 이용 전자시스템 보호용 고속 고전압 접음제거소자(2 KV)		→					
• 차세대 Jump 소자 원리, 그 메카니즘 연구(강상관, 강자성, 반도체 재료)			→				
• 신소재(Ge, GaAs계, ZnO, 기타) 박막 제조시스템설치 (4~6 인치)			→				
• VO <sub>2</sub> 신소재 기반 3단자 전기스위치 (10mA)			→				
• VO <sub>2</sub> 기반 3단자 광스위치 (10 mA)			→				
• Jump 소자 이용 전자시스템 보호용 고속 고전압 접음제거소자 (10 KV)			→				

### 나. 당해년도 마일스톤 수행계획

Milestone No.	1.1	
Milestone 명	MIT 소자 + TR 복합스위치 시제품 개발	
목표 일정	2009. 02. 28	
목 표	온도에 따른 MIT에서 히스테리시스(자체발열)를 극복하고, 휴즈와 같은 기능성 스위치 시제품	
주요 결과물	패키지된 소자 1차 시제품	
점검항목	점검기준	점검방법
히스테리시스	고온 MIT 소자의 자체발열을 해결하여 스위칭 특성 확보	70도 이상으로 온도를 상승시켜서 MIT가 발생된(ON) 후 다시 OFF 되는 특성 관찰
Milestone No.	2.1	
Milestone 명	Jump 특성을 가진 신소재 개발	
목표 일정	2008. 8. 31	
목 표	신소재에서 전기적 점프 관측	
주요 결과물	전기적 점프를 갖는 비 VO <sub>2</sub> 계 박막	
점검항목	점검기준	점검방법
신소재 박막 (비VO <sub>2</sub> 계)	전기적 점프를 갖는 신소재 박막 비선형적 전류 Jump 전후 전류레벨 비교	신소재 박막에서 전기적 점프 측정 (전류 레벨 10배 이상)

※ '특허권리분석 마일스톤 목표일정' 은 상황에 따라 향후 변경될 수 있음



Milestone No.	3.1	
Milestone 명	특허권리분석 중간결과 도출	
목표 일정	2008. 08. 31	
목 표	특허권리중간 보고서 완성	
주요 결과물	특허권리분석 1차 마일스톤 실적보고서	
점검항목	점검기준	점검방법
특허권리분석 1차 마일스톤 실적 보고서	<ul style="list-style-type: none"> <li>특허권리분석 작업이 1차 보고서 작성단계까지 원활히 추진되었는가?</li> <li>실제 연구 목표 및 내용의 명확한 설명</li> <li>특허권리분석 대상 기술 선정 및 제외 사유 타당성</li> <li>특허검색조건</li> <li>세부기술별 검색 조건 및 키워드</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1차 보고서 작성내용을 토대로 점검</li> <li>서류점검을 원칙으로 하되 필요 시 연구기관 수행담당자 면담</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>하기 사항을 점검</li> <li>계획목표의 달성도</li> <li>질적 수준의 우수성</li> <li>결과에 대한 검증 여부</li> <li>수행방법의 적절성</li> </ul>	

Milestone No.	3.2	
Milestone 명	특허권리분석 최종결과 도출	
목표 일정	2009. 02. 28	
목 표	특허권리최종 보고서 완성	
주요 결과물	특허권리분석 2차 마일스톤 실적보고서	
점검항목	점검기준	점검방법
특허권리분석 2차 마일스톤 실적 보고서	<ul style="list-style-type: none"> <li>특허권리분석 작업이 2차 보고서 작성단계까지 원활히 추진되었는가?</li> <li>실제 연구 목표 및 내용의 명확한 설명</li> <li>특허권리분석 대상 기술 선정 및 제외 사유 타당성</li> <li>특허검색조건</li> <li>세부기술별 검색 조건 및 키워드</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2차 보고서 작성내용을 토대로 점검</li> <li>서류점검을 원칙으로 하되 필요 시 연구기관 수행담당자 면담</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>하기 사항을 점검</li> <li>계획목표의 달성도</li> <li>질적 수준의 우수성</li> <li>결과에 대한 검증 여부</li> <li>수행방법의 적절성</li> </ul>	

## 다. 2차년도 마일스톤 수행체계 및 수행계획

Milestone No.	1.1	
Milestone 명	VO <sub>2</sub> , 신소재 기반 3단자 스위치 개발 (5mA)	
목표 일정	2009. 08. 31	
목 표	전압에 의해 구동하는 VO <sub>2</sub> , 신소재 기반 3단자 스위치 개발 (5mA)	
주요 결과물	스위치 소자 1차시제품	
점검항목	점검기준	점검방법
Jump 특성을 이용한 3단자 스위치 소자 동작 특성	스위치 제어 전류 레벨 : 5mA	3단자 스위치에 5mA 인가하여 정상 동작 확인
Milestone No.	1.2	
Milestone 명	Jump 소자이용 전자시스템 보호용 고속고전압 잡음 제거소자 개발	
목표 일정	2010. 02. 28	
목 표	전자시스템 보호용 고속고전압 잡음 제거소자 개발 (2kV)	
주요 결과물	고속고전압 잡음 제거소자 개발 (2kV 잡음 제거용 시제품 개발)	
점검항목	점검기준	점검방법
잡음제거 능력	2kV 잡음에 대응하는 Peak Voltage < 200V	2kV 잡음 제거 특성 측정 (200V 이하)

※ '특허권리분석 마일스톤 목표일정' 은 상황에 따라 향후 변경될 수 있음

Milestone No.	3.1	
Milestone 명	특허권리분석 중간결과 도출	
목표 일정	2009. 08. 31	
목 표	특허권리중간 보고서 완성	
주요 결과물	특허권리분석 1차 마일스톤 실적보고서	



점검항목	점검기준	점검방법
특허권리분석 1차 마일스톤 실적 보고서	<ul style="list-style-type: none"> <li>특허권리분석 작업이 1차 보고서 작성단계까지 원활히 추진되었는가?                             <ul style="list-style-type: none"> <li>실제 연구 목표 및 내용의 명확한 설명</li> <li>특허권리분석 대상 기술 선정 및 제외 사유 타당성</li> <li>특허검색조건                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>세부기술별 검색 조건 및 키워드</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>하기 사항을 점검                             <ul style="list-style-type: none"> <li>계획목표의 달성도</li> <li>질적 수준의 우수성</li> <li>결과에 대한 검증 여부</li> <li>수행방법의 적절성</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1차 보고서 작성내용을 토대로 점검                             <ul style="list-style-type: none"> <li>서류점검을 원칙으로 하되 필요 시 연구기관 수행담당자 면담</li> </ul> </li> </ul>

Milestone No.	3.2
Milestone 명	특허권리분석 최종결과 도출
목표 일정	2010. 02. 28
목 표	특허권리최종 보고서 완성
주요 결과물	특허권리분석 2차 마일스톤 실적보고서

점검항목	점검기준	점검방법
특허권리분석 2차 마일스톤 실적 보고서	<ul style="list-style-type: none"> <li>특허권리분석 작업이 2차 보고서 작성단계까지 원활히 추진되었는가?                             <ul style="list-style-type: none"> <li>실제 연구 목표 및 내용의 명확한 설명</li> <li>특허권리분석 대상 기술 선정 및 제외 사유 타당성</li> <li>특허검색조건                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>세부기술별 검색 조건 및 키워드</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>하기 사항을 점검                             <ul style="list-style-type: none"> <li>계획목표의 달성도</li> <li>질적 수준의 우수성</li> <li>결과에 대한 검증 여부</li> <li>수행방법의 적절성</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2차 보고서 작성내용을 토대로 점검                             <ul style="list-style-type: none"> <li>서류점검을 원칙으로 하되 필요 시 연구기관 수행담당자 면담</li> </ul> </li> </ul>

구 분	구체적인 내용(과학적/기술적 원리 및 응용과정과 관련된 내용)
기존(선행)기술과 비교하여 유리한 점	전기적 점프를 이용한 신소자는 점프가 없는 반도체 소자보다 저저항이므로 보다 작은 발열로 많은 전류를 흘릴 수 있음
기존(선행)기술과 비교하여 불리한 점	전기적 점프는 반도체에서 없는 특성이므로 반도체에서 접근할 수 없는 영역을 이용하므로 특별히 불리하다고 표현할 수 없음

※ 신기술인 경우에는 해당사항 없음

## 나. 활용(상용화) 가능성

구 분	구체적인 단계 및 내용
기술의 응용분야 및 활용방법	전기적 점프를 이용한 소자는 나노급에서 메모리 및 스위칭 소자, 대전류 제어용 전력용 반도체의 일부를 대체하는 대전류 제어용 스위치에 응용 예상
적용상의 애로점과 극복(개선) 방안	현단계에서 적용애로점이 뚜렷이 나타나지 않았음
제품/서비스의 예상 수요자(층)	메모리 회사 및 전력반도체 소자 업체
제품/서비스화하여 시장에 도입되기까지 요구되는 시간의 정도	5년 이상

## 다. 시장 및 경쟁

구 분	구체적인 내용
내수시장 창출효과	아래 참조
수출효과/수입대체 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>전력반도체 시장 : 185억달러(2015년)</li> <li>과전압/과전류 보호회로 시장 32억달러(2015년)</li> <li>프로그래머블 임계온도 스위치 시장 규모는 현재 조사중</li> <li>스텝모터제어용, 고전류 증폭용 트랜지스터 시장 규모는 현재 조사 중</li> </ul> <p>[참고] 위 시장은 기존의 시장 규모임. Jump 소자 출시 시 위 시장의 일부를 잠식할 것으로 예상함</p>
잠재적/현재적 경쟁자와 그들이 갖고 있는 기술/제품 특성	본 제안의 기술의 경쟁자는 특별히 없으나, 있다면 반도체 소자 제조 업체이며, 반도체 소자는 반도체 특성을 이용함. 반면에 본 제안의 기술은 반도체가 아닌 점프 특성을 이용함

## 라. 이전 가능한 기술목록

기술이전 목록	주요 핵심기술내용	이전여부 및 시기	이전형태
5인치 VO <sub>2</sub> 박막제조 기술	5인치 VO <sub>2</sub> 박막제조 기술	2009년	박막제조 기술
전기 제어용 3단자 소자	전기 제어용 3단자 소자	2010년	설계도,공정도,시제품
광 제어용 3단자 소자	광 제어용 3단자 소자	2010년	설계도,공정도,시제품
박막형 바리스터 기술	박막형 바리스터 기술	2010년	설계도,공정도,시제품
VO <sub>2</sub> 가 아닌 점프를 내는 재료의 박막제조기술	점프를 내는 Ge 박막 제조 기술	2010년	박막제조 기술

※ 이전형태는 특허, 설계도, 회로도, 공정도, S/W, 시제품 등을 지칭함

## VII 활용(산업화) 방안

### 가. 기술평가