

2016 AUGUST
vol.31

31

융합

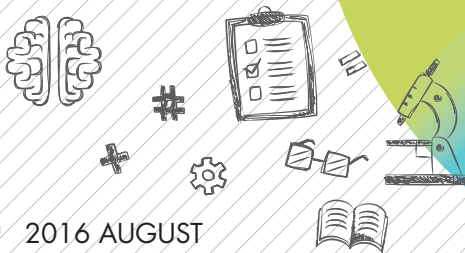
WeeklyTIP

Technology • Industry • Policy

스핀트로닉스의 현황 및 전망

송가은 | 융합연구정책센터





스핀트로닉스의 현황 및 전망

송가은 | 융합연구정책센터

선정배경

- 현재 사용되고 있는 실리콘 기반 반도체 기술은 물리적 한계에 접근하고 있으며, 이 한계를 극복할 수 있는 새로운 기술이 필요함
 - 전자소자의 크기가 나노 단위까지 작아지면서 간섭 현상이 심해지는 양자역학적 투과 현상 발생
 - 소자자체의 휘발성 한계를 지니며 지나친 소형화에 따른 열 방출문제가 해결되지 않고 있음



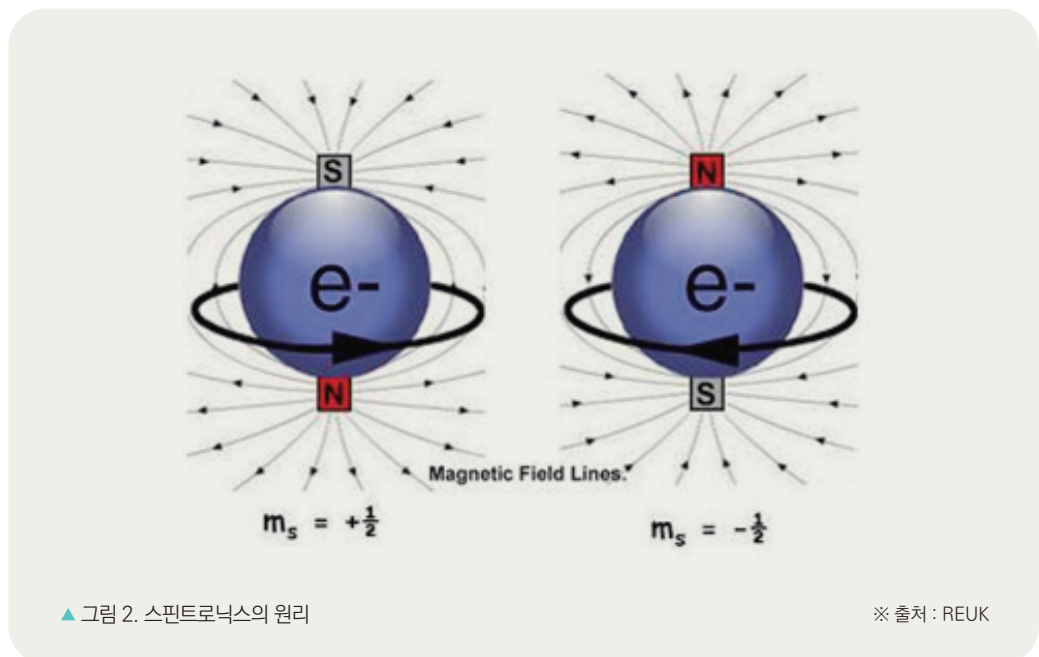
▲ 그림 1. 다양한 문제에 직면한 실리콘 반도체

- 스핀트로닉스 소자는 실리콘소자의 한계를 넘을 수 있는 가장 강력한 대안으로 떠오르며 나노기술 중 가장 먼저 실용화가 이루어진 대표적인 차세대 전자소자 기술
 - 스핀의 고유특성인 비휘발성으로 소비전력을 대폭 줄일 수 있으며 대용량, 초고속 메모리 소자임

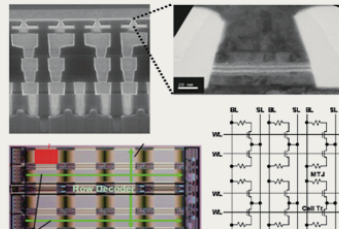
개요



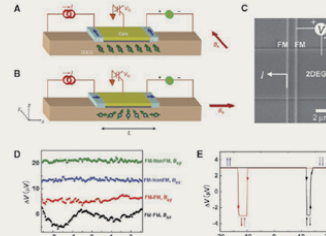
- **(정의)** 스핀전자기술 또는 스핀전자공학이라고도 하며 자기장을 이용해 전자와 그 전자의 스핀 방향을 원하는 대로 제어하는 기술
 - 현재의 D램보다 훨씬 많은 양의 정보저장이 가능하며 정보처리와 정보저장이 동시에 이루어질 수 있음
 - 스핀 정보저장소자 기술, 스핀 정보처리소자 기술, 스핀 통신소자 기술로 분류되며 향후 5년~10년 사이에 실용화 될 것으로 예상 있음
- **(원리)** 전자축을 중심으로 자전하는 전자의 회전운동이 스핀이며, 스핀트로닉스는 전자가 가지고 있는 스핀방향을 위와 아래로 구분하여 전자의 이동을 제어하여 정보 처리



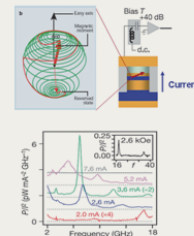
- **(소자에 따른 기술구분)** 금속과 반도체를 기반으로 하는 기술로 나눌 수 있음
 - (금속기반기술) 자기터널(Tunnel Magnetoresistance, TMR)현상을 이용하여 HDD의 재생헤드로 응용되며 MRAM의 개발에 사용됨. 또한, 스핀 토크(Torque) 기술을 이용하여 GHz 대역 고주파 통신소자로도 응용됨
 - (반도체기반기술) 자성체-반도체하이브리드 스핀소자기술과 자성반도체(Magnetic Semiconductor)기술 분야로 나눌 수 있으며 스핀 전계효과 트랜지스터, 스핀 발광 다이오드 등에 활용됨
- **(기능에 따른 기술)** 스핀 정보저장소자 기술, 스핀 정보처리소자 기술, 스핀 통신소자 기술이 있음

스핀 정보저장소자
STT-MRAM

Grandis Inc.

스핀 정보처리 소자
Spin field effect transistor

KIST

스핀 통신 소자
Spin oscillator

Cornell Univ.

▲ 그림 3. 대표적인 기능의 스핀트로닉스 소자기술

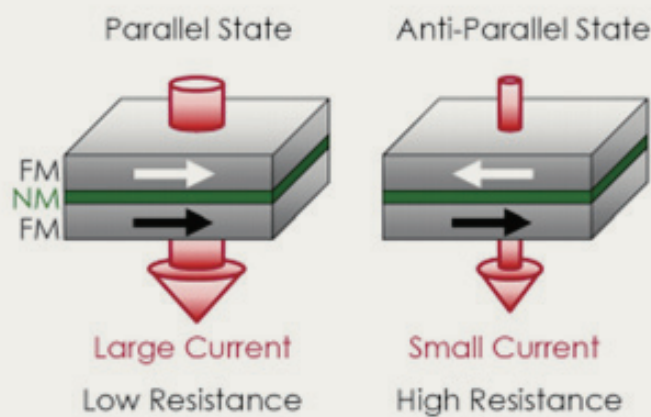
● **(정보저장소자)** 가장 대표적으로는 자기저항메모리(MRAM)로 1995년 발견된 터널 자기저항 효과(TMR)로 인해 개념을 제품으로 실현

- 최근에는 차세대 MRAM인 STT_MRAM*이 개발되어 기존의 자기장으로 셀을 스위칭하는 방식에서 스핀전달토크 현상을 이용하여 직접 전류로 셀을 스위칭 가능

* 거대자기저항효과(Giant Magneto-Resistance, GMR)와 전류구동 자화반전(current induced magnetization switching, CIMS)이라는 두 가지 개념에 기반하여 작동하는 소자로, STT는 Spin-Transfer Torque를 의미함

- 이로 인해 10GHz 정도의 주파수를 갖는 마이크로파를 발생시키거나, 자벽 이동이 가능해 졌으며, 셀의 크기가 작아질수록 정보기록이 용이해져 고밀도 MRAM이 가능해짐

- 기존 MRAM의 취약점인 확장성과 스위칭전력 문제 해결의 가능성을 제시하여 실용화가능성을 높임



▲ 그림 4. STT-RAM의 원리인 GMR 효과

	SRAM	DRAM	Flash (NOR)	Flash (NAND)	FeRAM	MRAM	PRAM	RRAM	STT-RAM
Non-volatile	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Cell size (F ²)	50-120	6-10	10	5	15-34	16-40	6-12	6-10	6-20
Read time (ns)	1-100	30	10	50	20-80	3-20	20-50	10-50	2-20
Write / Erase time (ns)	1-100	15	1 μ s / 10 ms	1 ms / 0.1 ms	50 / 50	3-20	50 / 120	10-50	2-20
Endurance	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ⁵	10 ⁵	10 ¹²	>10 ¹⁵	10 ⁸	10 ⁸	>10 ¹⁵
Write power	Low	Low	Very high	Very high	Low	High	Low	Low	Low
Other power consumption	Current leakage	Refresh current	None	None	None	None	None	None	None
High voltage required	No	3 V	6-8 V	16-20 V	2-3 V	3 V	1.5-3 V	1.5-3 V	<1.5 V
	Existing products						Prototype		

▲ 그림 5. STT-RAM과 경쟁기술 비교

- **(정보처리소자)** 스핀트랜지스터는 전자가 가지고 있는 전하와 스핀을 동시에 제어할 수 있는 소자로, 1990년 Datta-Das가 제안함
 - 같은 전하량이 전달되어도 스핀이라는 제어할 수 있는 변수가 추가되어 다양한 기능을 갖는 소자를 구현할 수 있을 것으로 전망
- **(정보통신소자)** 스핀 발진기는 2003년 코넬대학 연구그룹이 나노자성구조에서 스핀토크에 의한 초고주파 발진을 증명하면서 급속히 진전
 - 자기저항효과와 전류고동 자화반전 두 가지 개념에 기반하여 작동

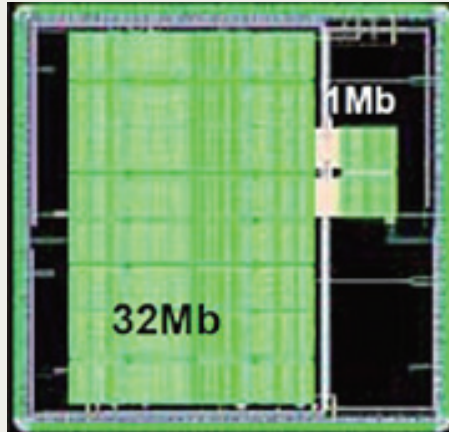
해외 기술개발 동향



정보저장소자 ● 미국

- (IBM) 스핀전달토크 및 전류고동 자화반전에 대한 원천기술을 보유하고 관련기술인 자구벽 이동소자에 대한 원천특허를 보유하고 Seagate와 펜실베니아주립대학과 공동연구 진행
- (Everspin) 기존 방식의 16MB급 토글형 자기메모리(Toggle MRAM)을 개발하여 응용분야(특히 BMW의 엔진 제어장치, 항공제어장치 등)에 사용되며 안정성을 인정받음. 상용화 수준의 STT-MRAM을 개발하여 '12년에 64MB급 시제품을 출시
- (Grandis) 벤처 기업으로서 자기터널접합을 이용한 STT-MRAM 관련 다양한 응용 기술과 특허를 보유하고 있으며 '12년 삼성전자에 인수됨

- (퀄컴) 대만 TSMC와 협력하여 임베디드 회로에 사용되는 STT-MRAM 개발



▲ 그림 6. 퀄컴과 TSMC가 공동개발한 45nm 임베디드 STT-MRAM

- (Avalanche Tech) 40nm 공정기술과 300mm 웨이퍼 CMOS 공정기반의 수직형 자기터널접합 셀이 적용된 STT-MRAM 개발을 완료하고 양산을 위한 시제품 생산에 들어간다고 발표함('15년)
- (Seagate) 올해 4월 10TB 엔터프라이즈용 HDD를 출시하여 산업계에서 가장 낮은 전력과 무게로 구현

● 일본

- 도시바, 히타치, NEC 등 약 20 여개의 반도체 주요기업이 STT-MRAM 상용화를 위한 연구개발을 진행 중
- (AIST연구소) MgO 터널접합의 원천기술을 보유하고 있으며 Toshiba 및 Canon-Anelva와 협력 중
- (NEC) 자기도메인을 전류를 이용하여 이동시키는 방식의 메모리와 수직 자기터널접합을 이용하여 임베디드 메모리 구현

● 프랑스

- (Crocus) 독특한 형식의 TAS(thermally assisted switching) -MRAM을 개발하고 있으며 10ns 이하에서 2MA/cm²의 전류밀도로 구동 가능한 50nm급 STT-MRAM 기술을 확보하였다고 발표

정보처리소자

● 미국

- 미네소타대학에서는 GaAs를, 델라웨어 대학에서는 Si를 이용하여 각각 스핀주입 및 검출을 증명했으며 스핀주입 효율의 향상을 위해 자성체/반도체 계면에 배리어를 이용하는 방법을 활용
- 기존의 CMOS 기반 논리소자를 스핀트로닉스 기술을 이용한 논리소자로 대체하기 위한 연구가 미국과 일본을 중심으로 매우 활발하게 진행

● 일본

- '08년 히타치와 도호쿠대학은 협력연구를 통해 자기터널접합과 CMOS 논리회로를 결합하여 Full adder를 시연
- 기존 회로와 동일한 기능을 수행하면서도 동적 출력(dynamic power)을 기존의 23% 정도밖에 소모하지 않음

정보통신소자

● 미국

- 코넬대학과 미국표준기술연구소(NIST)를 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 코넬은 히타치와 알루미늄 측벽 부동태 처리연구를 통해 FREE-LAYER 나노자기 구조 생산을 용이하게 하는 기술을 개발
- IBM, Seagate 등에서 스핀 발진기의 실용화를 위하여 공동연구 진행

● 일본

- 오사카대학, 도호쿠대학, AIST 연구소를 중심으로 MgO 터절 접합에 기반한 스핀 발진기 연구를 선도

● 프랑스

- 파리남대학 및 프랑스국립과학연구센터(CNRS)는 스핀 발진기 세계 최고 수준의 연구를 도출하고 있음
- Spintec에서는 새로운 구조와 물질을 중심으로 하는 스핀 발진기 실험 연구가 활발히 진행 중

국내 기술개발 동향



● 산학연이 협력하여 STT-MRAM 개발에 주력

- 삼성전자와 하이닉스는 2000년대 중반부터 자체 연구개발 진행
- 테라급 나노소자사업을 통해서 KIST와 삼성중기원 등 6개 연구기관이 참여하여 수평 자성층을 이용한 STT-MRAM 개발 연구 수행('10년 종료)
- 삼성전자와 SK하이닉스는 한양대, KIST, 고려대 등의 기관과 협력하여 2014년까지 30nm급 수직자화 STT-MRAM 개발에 대한 공동연구를 수행('09년~'14년)

● 국내 기업들은 해외기업과 협력하거나 인수를 통해 기술개발에 주력

- STT-MRAM의 상용화 연구를 위해 삼성전자는 미국의 Grandis를 흡수·합병
- SK하이닉스는 수직자성재료 분야에 강점을 지닌 일본 도시바와 공동개발 협약을 체결해 STT-MRAM 개발 연구를 계속 진행

● KIST는 스핀 트랜지스터 및 스핀주입 기술에 있어 세계 최고수준

- '09년 InAs기반 반도체/자성체 하이브리드 구조를 이용한 스핀주입 및 게이트제어를 통해 세계최초 스핀 트랜지스터 동작 구현
- 최근에는 차세대반도체연구소에서 InAs채널을 사용하여 전자끼리 충돌하는 것을 억제하고 충돌 전에 스핀 홀 현상을 발생시켜 전압을 측정하는 방식으로 초저전력 반도체용 스핀소자 연구기술 개발

시장 동향



- '15년 반도체 시장은 3,300억 달러 규모였으며 '20년경에는 4,000억 달러로 성장할 전망(PRNewswire)
 - 한국 시장 성장률은 전 세계보다 높으며, 연평균 약 15%로 추산됨
- STT-MRAM은 현재 기존 시장에서 메모리를 대체하여 사업화가 가능하며 반도체 산업분야의 신규시장 창출이 가능할 것
 - '19년에는 STT-MRAM이 시장에서 큰 영향력을 가질 수 있을 것으로 전망하며 매출액은 '14년 3억 달러에서 '20년에는 30억 달러로 증가할 전망(시장조사업체 컬린협회)
- '17년 초기 제품이 시장에 진출하여 경쟁이 시작될 것으로 예상됨
 - Everspin은 16Mb MRAM을 이미 제품생산한 경험을 바탕으로 STT-MRAM에서도 주도권을 잡을 가능성이 농후함
 - 삼성(Grandis)과 하이닉스/도시바는 스탠드 얼론 메모리 분야를 선점할 것
 - 쉐록/TSMC는 모바일 칩 분야에서 주요 업체로 부상할 전망
 - Crocus/IBM은 공동특허 라이선스 계약을 체결하였으며, Thermally assisted Magnetic-Logic-Unit(MLU)분야에서 경쟁력을 갖출 것
- 스핀 트랜지스터의 상용화는 향후 10년 이후로 예상하며 기술적 문제가 해결 되었을 때 논리소자를 중심으로 한 비메모리 시장을 점유할 것
 - 단기적으로는 스핀주입기술과 기존 CMOS기술이 결합된 형태의 소자가 트랜지스터의 상용화 이전에 모바일시장에 출현 가능
- 스핀통신소자는 거의 모든 무선통신 시스템에 적용이 가능하며 차세대 휴대정보기기의 송수신기 및 유비쿼터스 무선센서의 핵심장치 등에 다양하게 활용 가능

시사점



- STT-MRAM과 스핀논리소자는 인스턴트-온 기능과 빠른 속도로 배터리 수명을 증진시켜 미래 에너지를 절감시킬 수 있는 주목받는 기술
- 스핀통신소자에 대한 원천기술 확보로 차세대 이동통신 시스템의 경쟁력 모색 필요
 - 현재 휴대폰의 핵심 부품인 이동통신 모듈 및 송수신기 관련 부품은 국내 및 수출되는 모든 휴대폰에서 채택률이 매우 낮으며 스핀통신소자 연구를 통해 극복 가능

참고문헌



- 스핀전달토크를 이용한 스핀트로닉스 소자, 한국물리학회 2010.7-8월
- 국내 연구진, 스핀트로닉스 소자 구현 핵심 기술 개발, 조선비즈 2015.5.28.
- 전자의 숨겨진 특성 ‘스핀’으로 컴퓨터 메모리 만든다!, 동양사이언스 2010.10.20
- 스핀트로닉스 기술, 물리학과 첨단기술 2006.6월
- Samsung acquires Grandis in bid for memory tech, ZDNet 2011.8.2
- Memory with a spin, nature nanotechnology 2015.3.5
- Crocus and IBM Sign Technology Development and Patent License Agreements, PRNewswire 2011.10.5.
- A spintronics breakthrough, 2012.8.14.
- 나노스핀트로닉스 및 자성재료 연구실, 물리학과 첨단기술 2014.6월