

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 (43) 공개일자	10-2009-0074873 2009년07월08일
(51)	Int. Cl.	(71)	출원인
	<i>G11B 5/00</i> (2006.01) <i>G11B 5/02</i> (2006.01) <i>G11C 11/15</i> (2006.01)		고려대학교 산학협력단 서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내
(21)	출원번호	(72)	발명자
(22)	출원일자		김영근
	심사청구일자		서울 강남구 압구정2동 한양아파트 72-1109
			노수정
			경기 부천시 오정구 고강1동 333-3번지 서원아파트 다동 505호
		(74)	대리인
			김한

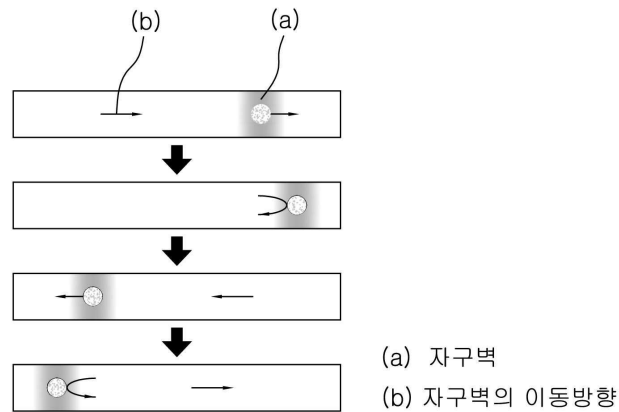
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 자구벽 이동을 이용한 자기 기억 소자

(57) 요약

본 발명은 다수의 자구를 갖는 자성 트랙을 포함하는 자기 기억 소자에 관한 것으로서, 상기 자성 트랙에 수직 자기 이방성 물질(materials with perpendicular magnetic anisotropy)을 사용함으로써, 정보 저장의 고밀도화를 제공할 수 있으며, 나아가 소정의 감쇄 상수에 따른 자구벽의 진동현상을 이용하여 낮은 구동 전류에서도 높은 자구벽의 이동속도를 얻을 수 있다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

다수의 자구를 갖는 자성 트랙을 포함하는 자기 기억 소자에 있어서,

상기 자성 트랙은 구동 전류에 의해 이동되는 자구벽(magnetic domain wall)을 구비하되, 상기 자구벽은 소정의 감쇄 상수(damping constant)에 따라 진동하면서 이동함을 특징으로 하는 자구벽 이동을 이용한 자기 기억 소자.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 구동 전류는,

10^6 A/cm^2 이하임을 특징으로 하는 자구벽 이동을 이용한 자기 기억 소자.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 감쇄 상수는,

0.001 ~ 0.05임을 특징으로 하는 자구벽 이동을 이용한 자기 기억 소자.

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 자성 트랙은,

수직 자기 이방성 물질(materials with perpendicular magnetic anisotropy)로 형성된 것임을 특징으로 하는 자구벽 이동을 이용한 자기 기억 소자.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 최근 활발히 연구되고 있는 정보저장용 자구벽 소자를 이용한 자기 기억 소자 기술에 관한 것이다. 나노 자기 소자 기술은 전자의 스핀 이동을 이용하여 초고속 대용량 정보저장기술, 나노바이오 공학용 DNA 및 단백질 검출기, 가전 및 자동차 자동제어센서, 스핀 광소자 등의 넓은 범위에 응용가능한 신기술이다.
- <2> 후술할 정보 저장용 자구벽 소자는 외부 자기장 인가 또는 전류 인가에 의한 운동량 전달(스핀토크)에 의해 자구벽이 이동하는 것을 이용해 정보를 재생/기록하는 것으로써, 현재 나노 자기소자 기술에서 주목받고 있는 초고속 대용량 정보저장기술에 활용 가능하다.

배경 기술

- <3> 데이터 저장 장치는 크게 휘발성 데이터 저장 장치와 비휘발성 데이터 저장 장치로 나눌 수 있다. 휘발성 데이터 저장 장치의 경우 전원이 차단되면 기록된 데이터가 모두 지워지지만, 비휘발성 데이터 저장 장치의 경우 전원이 차단되더라도 기록된 데이터가 지워지지 않는다.
- <4> 상기 비휘발성 데이터 저장 장치는 HDD(Hard Disk Drive)와 비휘발성 RAM(Random Access Memory) 등이 있다. 상기 HDD는 읽기/쓰기 헤드와 데이터가 기록되는 회전하는 매체를 포함하고, 많은 데이터가 저장될 수 있다. 그런데 상기 HDD와 같이 회전하는 부분을 갖는 저장 장치는 마모되는 경향이 있고, 동작시 페일(fail)이 발생할 가능성이 크기 때문에 신뢰성이 떨어진다.
- <5> 한편, 상기 비휘발성 RAM으로는 현재 널리 사용되고 있는 플래쉬 메모리가 대표적이지만, 플래쉬 메모리는 읽기/쓰기 동작 속도가 느리고 수명이 짧은 단점이 있다. 이러한 플래쉬 메모리의 단점을 극복하기 위해 FRAM(Ferroelectric Random Access Memory), MRAM(Magnetic Random Access Memory) 및 PRAM(Phase-change Random Access Memory) 등과 같은 새로운 메모리들이 소개되었고, 이들 중 일부는 제한적으로나마 제품화되고 있다. 그러나 상기 FRAM은 셀 면적 축소가 어려워 대용량 메모리에서의 개발이 어려울 수 있고, MRAM의 경우는

쓰기 전류가 크고 데이터 신호 구별을 위한 센싱(sensing) 마진이 작기 때문에 대용량화가 어려울 수 있다. PRAM은 FRAM 및 MRAM 보다 미세화가 비교적 용이하나 저전력화를 위해 리세트(reset) 전류를 낮출 필요가 있다. 또한, 플래쉬 메모리, FRAM, MRAM 및 PRAM 모두는 HDD에 비하여 데이터 저장 용량이 매우 적고 생산 비용이 높다는 문제가 있다.

- <6> 이에, 최근에는 상기한 바와 같은 종래의 비휘발성 데이터 저장 장치의 문제점을 극복하기 위한 방법으로서, 자성 물질의 자구벽(magnetic domain wall) 이동 원리를 이용하는 새로운 데이터 저장 장치에 관한 연구 및 개발이 이루어지고 있다.
- <7> 이러한 초고집적 메모리는 IBM에 의해 개발된 레이스 트랙 메모리를 대표적으로 들 수 있다. 정보 저장용 자구벽 소자는 자성 와이어로 만들어진 트랙 내에서의 자구벽 이동 속도를 높임으로써 기존의 플래시 메모리나 하드디스크보다 훨씬 빠른 재생/기록 속도 및 집적도 측면에서 상당한 기대를 모으고 있다.
- <8> 본 발명에서 다루어질 '자구(magnetic domain)'란 강자성체를 구성하는 자기적인 미소영역을 의미하는 자기 구역을 말한다. 이러한 자구 내에서는 전자의 자전, 즉 자기 모멘트의 방향이 동일하며, 자구의 크기 및 자화 방향은 자성 재료의 모양, 크기 및 외부의 에너지에 의해 적절히 제어될 수 있다.
- <9> 또한, '자구벽(magnetic domain wall)'이란, 서로 다른 자화 방향을 갖는 자구들의 경계 부분을 의미하며, 이는 자성 재료에 인가되는 자기장 또는 전류에 의해 이동될 수 있다. 즉, 소정의 폭 및 두께를 갖는 자성 와이어(magnetic wire) 내에 특정 방향을 갖는 다수의 자구들을 만들 수 있고, 적절한 강도를 갖는 자기장 또는 전류를 이용하여 상기 자구들을 이동시킬 수 있다.
- <10> 더욱이, 후술할 '감쇠 상수(damping constant)'란 자성물질에 인가된 에너지의 분산 정도와 관련된 상수로서, 하기 <수학식 1>의 Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식에서 α 이다.

수학식 1

$$\frac{\partial \vec{M}}{\partial t} = -\gamma \vec{M} \times \vec{H}_{eff} + \alpha \vec{M} \times \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} - b_j \vec{M} \times (\vec{M} \times \frac{\partial \vec{M}}{\partial x})$$

- <11> 상기 <수학식 1>에서, t는 시간, x는 거리, $\vec{M}$ 은 단위 체적당 자기 모멘트인 자화량(magnetization)을 나타내고, $\vec{M}$ 은 자화방향의 단위벡터, γ 는 회전 자기 비(gyromagnetic ratio)를 나타내고, $\vec{H}_{eff}$ 는 샘플에 인가된 유효 자기장(effective field)를 나타내고, b_j 는 단열(adiabatic) 스핀 전달 토크 항(spin transfer torque term)을 나타낸다.

- <13> 상기 자구벽의 이동 원리는 HDD와 같은 데이터 저장 장치에 적용될 수 있다. 즉, 자성 물질 내에 특정 데이터와 대응되도록 자화된 자구들을 재생/기록 헤드를 통과하도록 이동시킴으로써 데이터의 재생/기록 동작이 가능하다. 이 경우, 기록 매체를 직접 회전시키지 않고도 재생/기록이 가능하므로, 종래의 HDD의 마모 및 페일(fail) 문제를 해결할 수 있다.
- <14> 또한, 자구벽 이동 원리는 비휘발성 RAM과 같은 메모리에 적용될 수 있다. 즉, 특정 방향으로 자화된 자구들 및 그들의 경계인 자구벽을 갖는 자성 물질에서 자구벽이 이동됨에 따라 자성 물질 내의 전압이 변화되는 원리를 이용하여 '0' 또는 '1'의 데이터를 재생/기록할 수 있는 비휘발성 메모리 소자를 구현할 수 있다. 이 경우, 트랙 형태의 자성 물질 내에 특정 전류를 흘려주어 자구벽의 위치를 변화시키면서 데이터를 읽을 수 있기 때문에, 매우 간단한 구조를 갖는 고집적 소자 구현이 가능하다. 이러한 레이스 트랙 메모리(race track memory)는 자성 와이어로 만들어진 트랙 내에서의 자구벽의 이동 속도를 높임으로써 기존의 플래시 메모리나 하드디스크보다 훨씬 빠른 재생/기록 속도 및 집적도 측면에서 우수하다.
- <15> 기존의 레이스 트랙 메모리의 예로서, 도 1에서 자구벽의 이동을 이용한 수직 배열(왼쪽 그림)과 수평 배열(아래 그림)의 나노선 자기 메모리가 도시되어 있다.
- <16> 즉, 비트(bit)들이 하나의 트랙을 따라 이동하며, 자기 트랙 내에 자구벽이라 불리는 생성되고 제거되는 자성 영역(creating or removing magnetic boundaries)에 의해 정보 비트들이 저장되는 것이다.

- <17> 이들 자구벽에 저장된 비트들은 별개의 자기장들(distinctive magnetic fields)을 만들고 있는 바, 이러한 별개의 자기장을 읽어내면 기존의 재생 헤드 센서로 읽어 낼 수 있다.
- <18> 자기장 물질 내의 전자 흐름(전류)이 자구벽들로 하여금 트랙을 따라 움직이게 하고, 이들 모든 자구벽들을 같은 방향으로 움직이게 한다. 따라서, 하나의 재생/기록 디바이스에 의해 이동하는 비트들을 읽어 낼 수 있는 것이다.
- <19> 비트의 정보들은 나노선 내의 서로 다른 방향의 자성 영역 경계인 자구벽에 저장된다. 그 다음 자구벽을 나노선을 따라 이동하여 자기장을 감지하는 재생 헤드를 지나고 데이터를 생성하는 기록 헤드를 지나게 된다.
- <20> 그러나, 레이스 트랙 메모리가 실용화되기 위해서는 다음과 같은 문제점을 극복해야 한다.
- <21> 첫째, 자구벽을 움직이는데 필요한 전류가 높아 실용화되기 어렵다.
- <22> 둘째, 현재 상용화되고 있는 자기 기록 방식은 수평자기기록 방식을 이용하는 것으로 소자의 두께 감소에 따른 정보저장의 고밀도화에 불리하다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <23> 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 낮은 전류에서 정보저장의 고밀도화를 꾀할 수 있는 자구벽 이동을 이용한 자기 기억 소자를 제공함에 있다.
- <24> 본 발명의 다른 목적은 낮은 구동 전류에서 빠른 속도 획득 뿐만 아니라 고밀도화를 통한 대용량 정보저장에 유리한 자구벽의 진동 이동을 이용한 자기 기억 소자를 제공함에 있다.

과제 해결수단

- <25> 상기 과제를 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명은 다수의 자구를 갖는 자성 트랙을 포함하는 자기 기억 소자에 있어서, 상기 자성 트랙은 구동 전류에 의해 이동되는 자구벽(magnetic domain wall)을 구비하되, 상기 자구벽은 소정의 감쇄 상수(damping constant)에 따라 진동하면서 이동함을 특징으로 한다.
- <26> 바람직하게도 본 발명은 다수의 자구를 갖는 자성 트랙을 포함하는 자기 기억 소자에 있어서, 상기 자성 트랙은 수직 자기 이방성 물질로 제조되는 것을 특징으로 한다.
- <27> 더욱 바람직하게는, 본 발명은 다수의 자구를 갖는 자성 트랙을 포함하는 자기 기억 소자에 있어서, 상기 자성 트랙은 구동 전류에 의해 이동되는 자구벽(magnetic domain wall)을 구비하되, 상기 자구벽은 소정의 감쇄 상수(damping constant)에 따라 진동하면서 이동함을 특징으로 한다. 이런 진동 이동은 낮은 전류에서 상대적으로 높은 자구벽 이동 속도를 얻을 수 있다.

효 과

- <28> 본 발명에 따른 자기 기억 소자는 수직 자기 이방성 물질에서 낮은 감쇄 상수에서 자구벽의 진동 형상을 나타내기 때문에, 낮은 구동 전류를 인가하더라도 상대적으로 높은 자구벽 이동 속도를 얻을 수 있고, 수직 자기 이방성 물질의 사용을 통해 정보 저장의 고밀도화를 얻을 수 있기 때문에 정보저장에서 높은 안정성을 기대할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <29> 이하 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다. 그리고, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명은 생략한다.
- <30> 본 발명자들은 자기 기억 소자에서 자구벽의 진동 이동 현상을 연구하기 위해 시뮬레이션 실험을 수행하였다.
- <31> 도 2는 본 발명의 시뮬레이션 실험에 이용된 기본 구조를 나타낸 모식도이다. 도 2를 참조한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 가로 600nm, 세로 50nm, 높이 10nm인 띠 형상의 구조에서 셀(cell) 크기는 가로 5nm, 세로 5nm, 높이 10nm로 설정하였다.
- <32> 본 시뮬레이션 실험의 초기조건은 수직 자기 이방성 물질의 자화 용이 축 방향을 z축으로 고정시킨 상태에서 구

조의 절반은 자기 모멘트를 $-z$ 방향으로 정렬시켰고, 나머지 부분의 자기 모멘트를 모두 $+z$ 방향으로 정렬시켜 평형상태를 유지시켰다. 전류를 인가시킨 방향은 $-x$ 방향으로 설정하여 전자가 $+x$ 방향으로 이동하여 자구벽이 전자를 따라 $+x$ 방향으로 이동하도록 설정하였다.

<33> 시뮬레이션에 사용된 수직이방성 물질의 물성 값은 각각 포화 자화 값이 78 emu/cm^3 , 표면 이방성은 0.3 erg/cm^2 이며, 결정 자기 이방성은 z 축 방향(용이자화 방향)으로 $2.681 \times 10^5 \text{ erg/cm}^3$ 이다.

<34> 더욱이, 상기 수직 자기 이방성 물질의 감쇄 상수가 0.01 이하일 때 10^6 A/cm^2 만큼의 구동 전류를 인가시킨 경우 시간에 따른 상기 수직 자기 이방성 물질에서는 외부 자기장이 없는 상태에서 10^6 A/cm^2 의 낮은 구동 전류에서 자구벽이 이동됨을 관찰하였다.

<35> 이는, 예를 들어, 기존의 수평 이방성 물질을 이용한 실험에서 10^8 A/cm^2 이상의 구동 전류를 인가시켜 자구벽을 이동시킨 것에 비해, 상대적으로 낮은 구동 전류를 인가함으로써 소자가 더욱 안정적으로 작동할 수 있음을 시사한다.

<36> 도 3은 본 발명의 자구벽의 진동 현상을 시간에 따라 자구벽의 위치 표시를 통해 나타낸 도면이다. 자구벽(a)은 전자의 이동방향(b)을 따라 이동하다가 어느 지점에 도착하면 전자의 방향을 역행해 반대방향으로 이동하는 현상을 보였다. 이러한 현상이 반복되면서 시간에 따라 진동하는 모습을 보였다.

<37> 기존의 수평 자기 이방성 물질(materials with in-plane magnetic anisotropy)은 외부 자기장이 존재하는 상태에서 펄스 전류($10^7 \text{ A/cm}^2 \sim 10^8 \text{ A/cm}^2$)의 길이에 따라 자구벽이 진동하는 현상을 나타냈다.

<38> 그러나 본 발명에서는 자구벽의 진동 현상을 구동 전류가 아닌 감쇄 상수에 의해 제어하는 것을 특징으로 한다(도 4 및 도 5 참조).

<39> 즉, 낮은 구동 전류에 의해 자구벽이 이동하되, 특정의 감쇄 상수에 의해서 진동하면서 이동함으로써, 진동하지 않을 때보다 상대적으로 높은 이동속도를 유지할 수 있게 한다. 전술한 배경기술의 <수학적 1>에 따르면 감쇄 상수의 증가에 따라 자구벽이 일정한 비를 가지고 감소해야 하지만 본 연구에서의 결과를 보면, 자구벽이 진동하면서 이동하는 구간의 속도가 급격히 증가함을 보이므로 자구벽의 진동 현상이 속도의 증가에 영향을 주었음을 알 수 있다.

<40> 도 4는 감쇄 상수에 따른 자구벽의 평균 이동속도를 나타내는 그래프이다. 도 3과 같은 조건에서 자구벽이 진동하는 범위의 감쇄 상수는 0.001 ~ 0.05까지이며, 0.1 이상의 비교적 큰 감쇄 상수 범위에서는 자구벽이 진동하지 않고 전자의 방향을 따라 한 방향으로만 이동한다.

<41> 이때, 자구벽의 평균 이동속도를 계산하여 비교하였을 때, 자구벽이 진동하는 경우 진동하지 않는 경우보다 상대적으로 빠른 속도를 보인다는 것을 알 수 있다.

<42> 도 5는 감쇄 상수에 따라 진동하는 자구벽의 진동수(frequency)를 나타내는 그래프이다. 도 3과 같은 조건에서 감쇄 상수에 따른 진동수는 최고 68 MHz, 평균 52 MHz 정도의 값을 보였다. 본 발명의 자구벽 진동 현상은 10^6 A/cm^2 정도의 낮은 전류를 똑같이 흘려주었을 때, 자구벽의 진동 현상이 없을 때보다 상대적으로 높은 이동속도를 보여주므로, 낮은 구동 전류를 인가 시켰을 때 자구벽의 진동 현상을 이용하는 것은 안정적인 소자 작동에 매우 유용할 것이다.

도면의 간단한 설명

<43> 도 1은 자구벽 이동을 이용한 나노선 자기 메모리를 나타낸 도면;

<44> 도 2는 본 발명의 시뮬레이션에서 이용된 기본 구조를 나타낸 모식도;

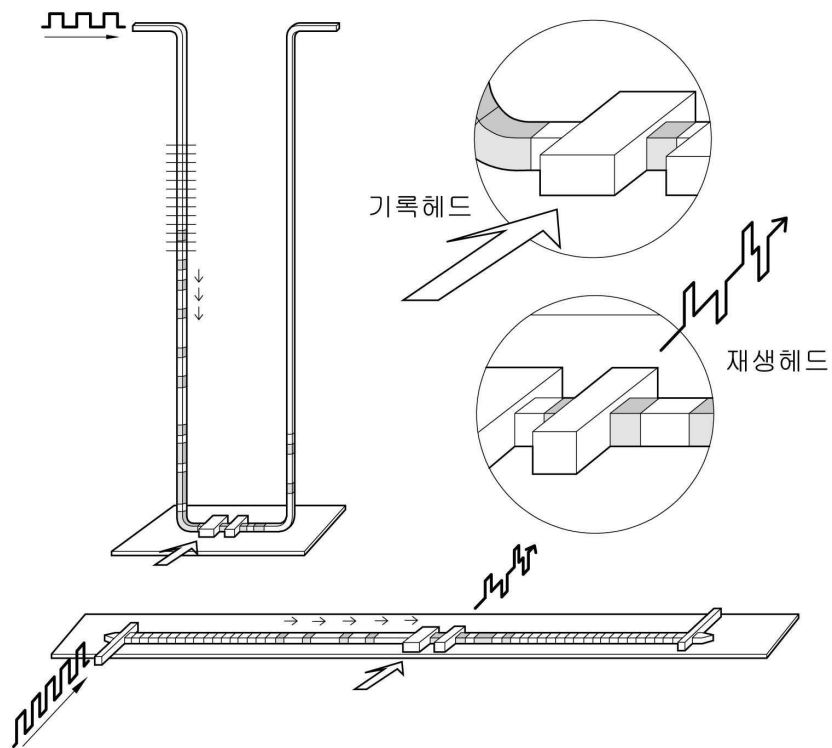
<45> 도 3은 본 발명의 자구벽 진동 현상을 시간에 따라 자구벽의 위치 표시를 통해 나타낸 도면;

<46> 도 4는 감쇄 상수에 따른 자구벽의 평균 이동속도를 나타내는 그래프; 및

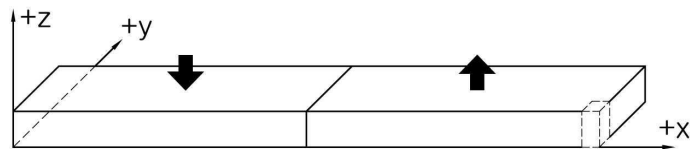
<47> 도 5는 감쇄 상수에 따라 진동하는 자구벽의 진동수(frequency)를 나타내는 그래프.

도면

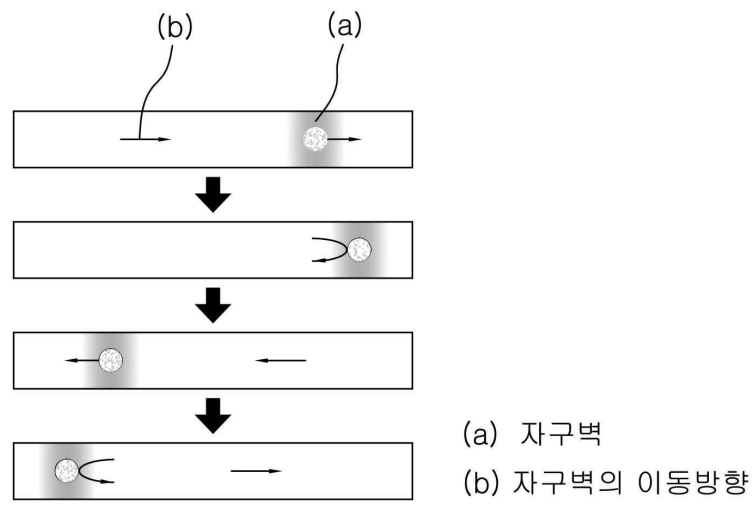
도면1



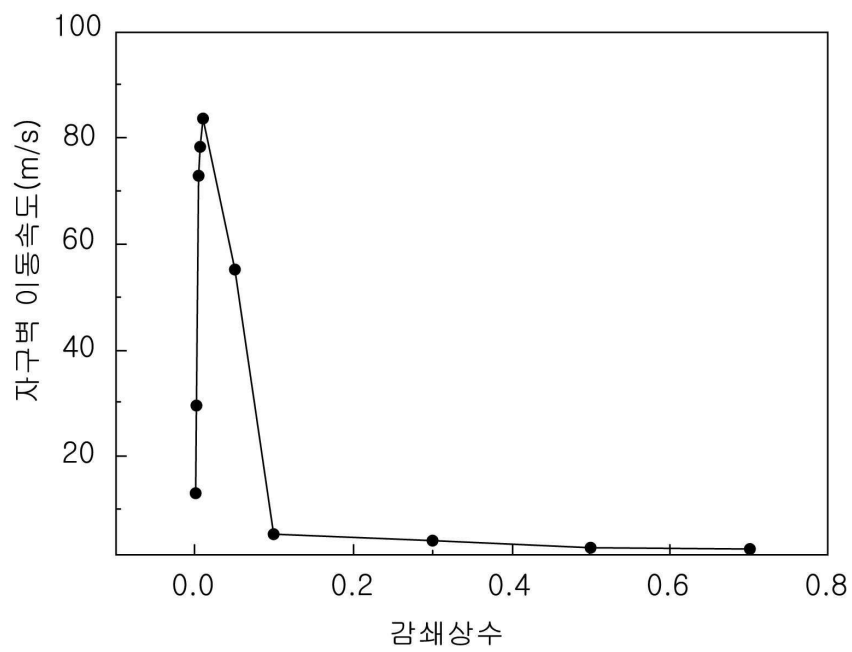
도면2



도면3



도면4



도면5

