

자기저항 헤드의 연구개발 동향

주승기

서울대학교

(1992년 11월 11일 받음)

I. 서론

자기기록 정보의 고밀도화와 이에 따른 우수한 재생능력에 대한 요구는 민감하면서도 정확한 박막형태의 소형 자기센서 개발을 필요로 하게 되었다[1]. 자기감지 센서에는 여러가지 형태가 있으나 그 중에서 박막유도형 센서와 자기저항 센서가 기존 기록매체의 자기정보를 해독할 수 있는 헤드로서 적합하여 각각 1960년대와 1970년대에 연구 개발이 시작되어[2,3] 오늘날에도 구조의 개선과 새로운 재료의 개발이 진행되고 있다.

두 헤드의 가장 큰 차이점은 첫째, 전자는 자기장의 시간 변화율을 감지하므로 출력이 기록매체와의 상대속도에 의존하는 반면에 후자는 자기장 자체를 감지하므로 출력이 상대속도에 무관하며, 둘째, 전자는 기록과 재생이 가능하나 후자는 원칙적으로 기록이 불가능하다는 것이다.

자기저항 헤드의 경우 출력과 해상도가 높으며 주파수 특성이 우수함에도 불구하고 단독으로는 사용할 수 없으나 기록을 위한 유도박막헤드와 조합하여 사용함으로써 그 장점을 살릴 수 있다. 최근에 IBM과 NEC 등에서 우수한 자기저항 헤드를 개발한 바 있다[4,5].

기록밀도가 초고밀도화되면 자기저항 헤드의 채택이 필수적이라는 예측이 지배적이며[6], 최근에 발견된 거대 자기저항 효과는 응용에 성공할 경우 헤드 뿐만 아니라 MRAM 등의 기억소자 분야에도 큰 변혁을 일으킬 것으로 전망되고 있다[7,8] 따라서 본 해설에서는 자기저항 헤드의 연구개발동향을 알아보고 최근에 주목을 받고 있는 인공초격자를 이용한 새로운 자기저항 소재의 개발 현황을 알아 보기로 하겠다.

II. 자기저항이란?

자기저항이란 재료가 자기장에 노출되었을 때 전기저항이 변하는 현상을 일컫는다. 자기저항 효과는 스핀-궤도 결합에 그 기원이 있으며, 자기장의 영향에 의하여 원자핵 주위의 전자 분포가 변화되고 이에 따른 전도전자의 산란양이 달라져서 생긴다[9]. 일반적으로 자기저항효과는 $\Delta R/R(\%)$ [자기저항비]로 그 효과의 크기를 나타내는데 (ΔR 는 자기장이 있을 때와 없을 때의 저항차이), 대개의 물질에서는 이 값이 매우 작으나 철, 니켈, 코발트 등의 합금에서는 수 %에 이른다[10].

자기저항 효과는 같은 재료에 있어서도 측정하는 방향에 따라 달라지고 보통 자화방향과 전류의 방향이 이루는 각도가 작을 수록 저항이 크다. Fig. 1에 각도에 따른 자기저항비의 변화를 나타내었다.

한편, 1988년 Fert 등의 프랑스 연구자들에 의하여 Fe/Cr 인공초격자에서 거대자기저항 현상이 발견되었

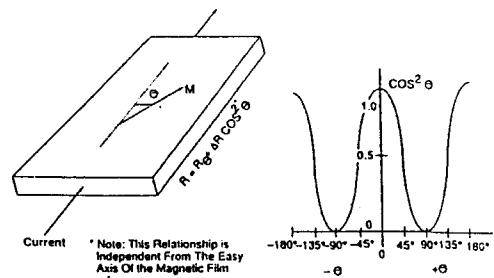


Fig. 1. MR ratio vs. $\theta_{i, MS}$.

다[11]. 거대자기저항이라고 불리는 것은 자기저항효과가 무려 수십 %, 심지어는 100 %를 초과하는 데에서 연유한다. 이러한 현상은 스핀과 관련된 전도전자산란이라는 점에서 기존의 자기저항과 유사하지만 자기저항을 나타내는 기구에 있어서는 전혀 다르다. 따라서 자기저항이라고 지칭하는 것은 오해의 소지가 있다[12].

이러한 신소재에서 거대자기저항 현상이 나타나기 위해서는 Fe, Co, NiFe 등의 자성층을 적절한 두께의 Cr, Cu 등의 비자성층으로 분리함으로써 자성층간에 반평행자화를 유도하는 것이 필수 조건이다. 이때의 비자성층 두께는 보통 10 Å 정도[13]이므로 인공적인 초격자 구조의 형성에 의해서만 가능한 것이다. Fig. 2에 거대자기저항 현상을 개략적으로 나타내었다.

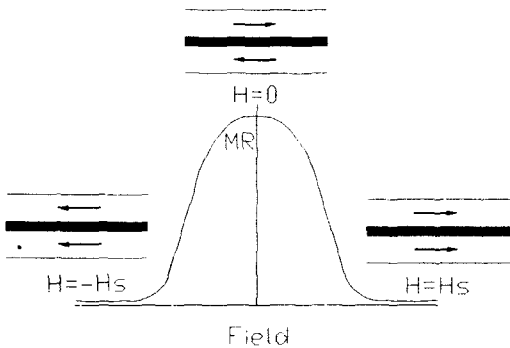


Fig. 2. Giant magnetoresistance (GMR).

III. 자기저항 헤드의 구조와 동작원리

자기저항(이하에서는 MR이라고 약칭하겠음) 헤드는 기록매체에 평행한 구조와 수직인 구조가 가능하다. 기록매체로부터 누설되는 자계의 크기는 거리에 따라 지수적으로 감소하므로 수평방식이 고속처리에 유리하나 마모 문제가 심각하여 주로 수직방식의 헤드가 사용된다. 따라서 본 해설에서는 수직방식에 국한하여 그 구조와 동작원리를 알아 보기로 하겠다.

헤드의 핵심부분인 MR 소자의 기본적인 구조는 Fig. 3과 같다. 기록매체로부터 누설되는 자계중 y 방향의 H_y 에 의하여 MR 소자의 자화가 ϕ 만큼 회전하게 된다. 이때 회전각 ϕ 는 다음 관계식에 의해 결정된다.

$$M_y / M_s = H_y / H_K = \sin\phi \quad (-H_K \leq H_y \leq H_K) \quad (1)$$

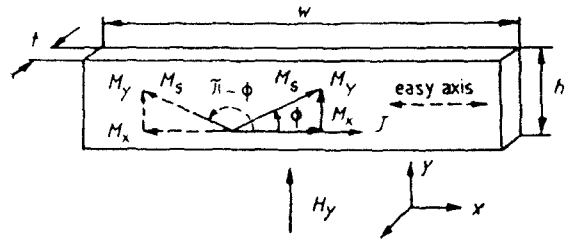


Fig. 3. Computing geometry of the MR effect in a rectangular sheet of permalloy.

여기에서, M_y , M_s , H_K 는 각각 MR소자의 y 방향 자화, 포화자화, 이방성자장이다.

Ohm의 법칙을 적용하면,

$$E_x = J \cdot \rho(\perp) [1 + [\rho(\parallel) - \rho(\perp)] / \rho(\perp) \cos^2\phi] \quad (2)$$

여기에서 $\rho = \rho(\perp) [1 + [\rho(\parallel) - \rho(\perp)] / \rho(\perp) \cos^2\phi]$ 라 하고 $\Delta\rho_{max} = \rho(\parallel) - \rho(\perp)$ 라고 정의하면,

$$\rho = \rho_0 + \Delta\rho_{max} \cdot \cos^2\phi \quad (3)$$

을 얻는다. 여기에서 $\rho_0 = [\rho(\parallel) + 2\rho(\perp)] / 3 \approx \rho(\perp)$ 이다. 여기에 식 (1)을 대입하면,

$$\rho = \rho_0 + \Delta\rho_{max} \cdot [1 - H_y^2 / H_K^2] \quad (4)$$

이 되어 누설자계에 따라 포물선적으로 변화하는 비저항 관계식을 얻는다. 이는 실험적으로 관찰되는 permalloy 등의 자기저항 이력곡선과 잘 일치한다.

MR 소자의 소재로써 permalloy를 사용하는 경우에 재료가 갖추어야 할 기하학적, 전기적 및 자기적 특성을 살펴 보면 다음과 같다.

- 합금 조성 : 80 %wt Ni 20 %wt Fe
- 증착 온도 : 250 °C
- 두께 (t) : 500 Å
- 길이 (w , 헤드길이와 같음) : 75 μm
- 폭 (h , 헤드높이와 같음) : 20 μm
- 최대 $\Delta R/R$ (20 °C) : 2 %
- 비저항 (ρ) : 0.25 $\mu\Omega\text{m}$
- 전기저항 (R) : 18 Ω
- 포화자화 (M_s) : 8×10^5 A/m
- 이방성 자장 (H_K) : 400 A/m
- 보자력 (H_c) : 160 A/m

- 자기소거자장 (H_d) : 2000 A/m
- 자화곤란축 총포화자장 : 2400 A/m
- ($H_i = H_K + H_d$)

자기소거자장은 소자의 기하학적 구조와 포화자장으로부터 다음과 같이 결정된다.

$$H_d = t/h \cdot M_s \quad (5)$$

위에 나열한 특성에서 알 수 있듯이 자기소거자장은 소자의 동작에 큰 영향을 미친다. 자기소거자장은 h 를 늘림으로써 감소시킬 수 있으나 이 경우 잡음특성이 저하되는 문제가 따른다. 이러한 잡음은 다중 자구의 형성에서 기인하며, Barkhausen 잡음으로 알려져 있다. 이를 억제하기 위해서는 단일 자구 상태의 유지가 필요하며, 길이 방향의 바이어스 자장에 의해 단일 자구상태가 안정화된다[14].

현편, 식 (4)에서 쉽게 알 수 있듯이 자계가 매우 작을 경우에는 자계에 따른 저항의 변화가 거의 없으므로 해상도가 급격히 저하되고 자계의 방향에 관계없이 대칭적인 출력력을 보이므로 자계의 방향을 감지할 수 없다. 따라서 헤드로서 사용되기 위해서는 소자 동작의 선형화가 필요하다. 또한 고밀도기록 정보 해독의 경우 인접정보로부터의 누설자계를 차단하고 MR 소자 전체에서 균일한 자계를 감지하기 위해서는 자기차폐(magnetic shield)가 요구된다.

IV. 자기저항 헤드의 종류

MR 소자는 앞절에서 언급한 선형화와 자기차폐의 요구 조건을 만족시킬 수 있는 구조로 개발, 발전되었으며, 선형화 방법과 기하학적 구조에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다[15].

바이어스 방법

- (1) 바이어스 자장 기법(Bias field techniques)
 - 분로 바이어스(shunt bias)
 - 절연분로 바이어스(insulated-shunt bias)
 - 연, 경자성 박막 바이어스(soft or hard-film bias)
- (2) 자화용이축 기울임법(Canted easy-axis bias)
- (3) 전류방향 기울임법(Canted current bias)

기하학적 구조

- (1) 단일 MR 소자(Single MR element)
- (2) 이중 MR 소자(Dual MR element)

선형화는 소자의 동작점을 식 (3)의 변곡점으로 옮김에 의해 이루어진다. 이는 Fig. 4와 같이 바이어스 자장 H_b 를 자화 곤란축 방향으로 가해주는 것과 동등하여, 전류 방향에 대해 자화방향을 회전시키거나 (바이어스 자장법, 자화용이축 기울임법) 자화용이축에 대해 전류방향을 기울임으로써 (전류방향 기울임법) 가능하다.

본 절에서는 바이어스 방법에 의한 선형화 방법에 대해 좀 더 자세히 고찰 해 보기로 하겠다.

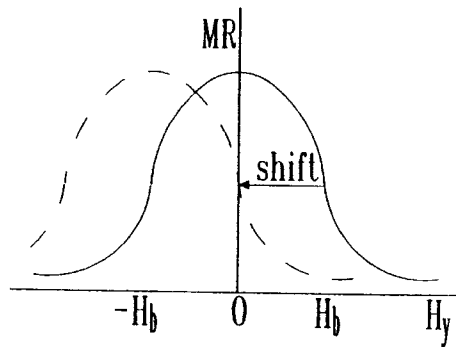


Fig. 4. Linearization by applying the bias field H_b

1. 분로 바이어스 헤드[16]

분로 바이어스 헤드에서 감지전류는 Fig. 5(a)와 같이 MR 소자층과 인접한 전도층을 통하여 흐른다. 각 층을 흐르는 전류는 주위에 자기장을 형성하는데, MR층으로 흐르는 전류가 형성하는 자기장은 자기 자신에는 영향을 미치지 못하며 전도층으로 흐르는 전류에 의해 형성되는 자기장은 인접한 MR 층에 바이어스 자장 H_b 를 작용하게 된다.

이때 소자의 비저항은

$$\rho = \rho_0 + \Delta\rho_{\max} \cdot [1 - (H_y^2 + 2H_b H_y + H_b^2) / H_i^2],$$

$$H_i = H_K + H_d \quad (6)$$

로 표현되며, 여기에는 2차 조화항이 포함되어 있어 신호의 왜곡이 나타나는데 이는 Fig. 5(b)와 같이 차동회로를 구성함으로써 제거될 수 있다.

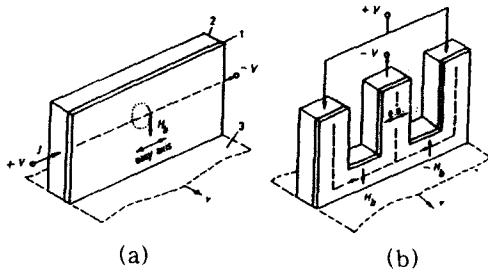


Fig. 5. Shunt-biased MR elements

- (a) Rectangular element,
- (b) E-shaped differential element.
- 1 - MR layer; 2 - conductor layer;
- 3 - recording medium

2. 절연분로 바이어스 헤드[17]

분로 바이어스 방법의 경우 감지전류가 전도층으로 새어 흐르므로 자기저항 효과가 감소하는 근원적인 단점이 있다. 또한 전도층 형성시 두 층의 계면에서 형성되는 금속간 화합물은 비저항과 보자력이 커서 MR층과 전도층을 SiO_x와 같은 절연막에 의해 전기적, 화학적으로 분리하는 방법이 고안되었다.(Fig. 6) 그러나 이 경우에는 MR층과 전도층이 떨어져 있으므로 같은 바이어스 자장을 형성하기 위해서는 보다 큰 바이어스 전류가 요구되며, 전류공급을 위한 별도의 단자와 전원이 필요하다.

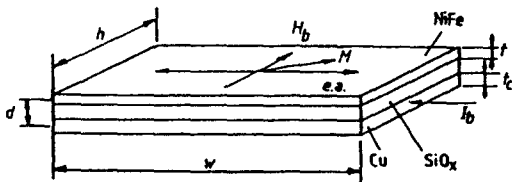


Fig. 6. Insulated shunt biasing process and geometry.

3. 연, 경자성 박막 바이어스 헤드[18]

전기적으로 단절된 연자성 박막은 MR 층을 흐르는 감지 전류에 의해 형성된 자장에 의해 자화된다. 자화된 연자성 박막은 이제 MR층과 정자기적으로 상호작용을 함으로써 MR 층의 자화방향을 회전시키게 된다.(Fig. 7) 이 경우 바이어스 자장은 $H_b = (M_{bb} - M_{MR}) / h$ 로써 표현될 수 있다. 분로바이어스법의 경우와는 달리 어느정도 이상의 감지전류는 연자성층을 포화시킴으로써

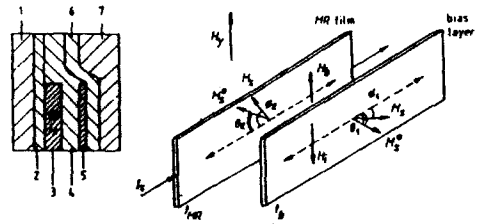


Fig. 7. Soft-film-biased MR head and principle of operation.

- 1, 7 : permalloy shields
- 2, 4, 6 : insulating layers
- 3 : MR film 5 : bias layer

더 이상 영향을 미치지 못하게 되며, 최적의 상호작용조건은 연자성 재료의 자기적특성과 기하학적 구조에 의해 결정된다.

연자성 박막의 경우와 마찬가지로 경자성 박막을 이용한 바이어스가 가능하다. 높은 보자력과 잔류자화를 갖는 재료를 연자성 박막 대신에 사용하는 것으로서 충분히 강한 상호작용을 얻으면서 누설자계가 전부 MR 층에 흡수되게 하기 위해서는 경자성 박막과 MR 층의 거리는 자기차폐층과의 거리보다 작아야 한다. 그러나 대개 영구자석의 표면은 불균일한 누설자계를 형성하므로 MR 층은 이러한 표면 자계의 영향을 받지 않을 만큼 충분히 떨어져 있어야 한다 이 경우 정자기적 상호작용조건은 $M_s t_b \geq M_s t_{MR}$ 이다. 여기에서 M_s 와 M_b 는 각각 영구자석의 잔류자화, MR층의 포화자화이다. 경자성 박막 바이어스법은 원하지 않는 기록소거의 위험을 지니고 있으나 분로 바이어스 법보다 훨씬 더 균일한 바이어스 자장을 제공할 수 있다.

4. 자화용이축 기울임법[19]

분로 바이어스법이 바이어스 자장에 의해 MR층의 자화방향을 회전시키는 것임에 대해 이 방법은 MR층 형성시 결정이방성을 이용하여 자화용이축을 전류방향에 대해 45° 회전시키는 방법이다. 이 방법은 바이어스 전류나 강자성 박막이 더이상 필요하지 않다는 장점이 있으나 MR 특성이 MR층 형성시의 자화분산에 크게 의존한다는 단점이 있다.

용이축자화분산을 갖는 재료의 자화는 Fig. 8과 같은 나비형의 MR이력곡선을 나타내는 것이 특징이며, 낮은 자장에서 동작하는 경우 이력곡선이 닫히지 않게 된다.

자화 분산각이 45° 일 때를 고려하면

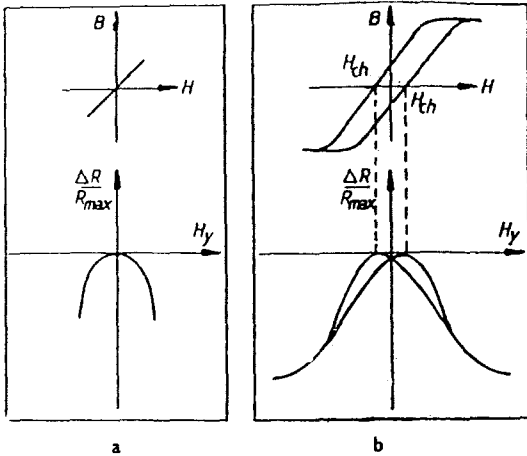


Fig. 8. Magnetization curves and static characteristics of unsaturated (a) and saturated (b) MR elements.

$$\Delta R/R_{max} = H_y^2 / 2H_t^2 \pm H_y / H_t \cdot (H_y^2 / 4H_t^2 + 1/2)^{1/2} + 1/2 \quad (7)$$

로 되어 하나의 H_y 에 대해 서로 다른 두 MR비를 나타내는데, 이는 소자의 정상적인 동작을 방해한다.

또 하나의 중요한 문제는 박막 증착시 유도한 일축이방성을 유지하는 것이다. 형태이방성보다 큰 결정이방성을 유도함으로써 이룰 수 있으나 이는 $H_c > t/h \cdot M_s$ 의 조건을 만족해야 하므로 실제로 매우 얇은 박막에서만 가능하므로 MR 효과가 매우 작아지게 된다. 따라서 차폐층을 이용하거나 상호 작용하는 이중 MR 소자를 사용함으로써 자화용이축을 유지한다.

5. 전류방향 기울임법 [20]

앞에서 살펴 본 바와 같이 바아이스 자장법의 경우에는 큰 바이어스 전류와 별도의 전류공급 단자가 요구되며, 이때 발생하는 열에 의한 잡음은 소자특성을 저하시킬 위험이 있다. 연, 경자성 박막 바이어스의 경우 상호 작용 조건을 만족시키기 위해서는 엄격한 두께 통제와 기록 소거의 위험이 있다. 또한 자화용이축 기울임법의 경우에는 매우 강한 결정이방성을 갖는 재료가 요구된다. 더욱더 심각한 문제는 소자의 크기가 작아질 수록 자기소거자계가 증가하여 선형화를 위해서는 더 큰 바이어스 자장이 요구된다는 것이다. 이러한 이유로 전류의 방향을 기울임으로써 선형화하는 방법이 고안되었으며, 이 방법

의 장점은 다음과 같다.

- (1) 외부 바이어스 자계가 필요없으므로 기록 소거의 위험이 없다.
- (2) 분포 바이어스법에 비해 더 적은 수의 단자가 필요하다.
- (3) 식각에 의해 기울임 각도를 정밀히 조절할 수 있다.
- (4) 다중자구 형성에 의한 자화분산을 줄일 수 있다.
- (5) 전도층을 통하여 흐르는 전류에 의해 단일 자구 상태를 유지할 수 있는 보조 자계가 공급될 수 있다.

구조와 동작원리를 Fig. 9에 간략하게 나타내었다.

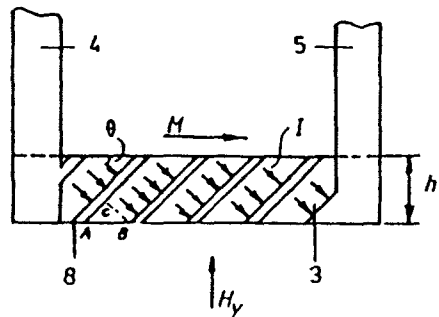


Fig. 9. Canting of current lines at barber-pole-biased heads.

H_y 에 의한 자화회전각을 ϕ , 전류흐름 기울어짐각을 θ 라 하면,

$$\sin \phi = H_y / H_t, \quad H_t \approx H_K + t/h \cdot M_s \quad (8)$$

$$\rho = \rho_0 + \Delta \rho_{max} \cdot [1 - \sin^2(\theta + \phi)] \quad (9)$$

이 되어 $\theta = 45^\circ$ (또는 135°)인 경우

$$\rho = \rho_0 + \Delta \rho_{max} \cdot [1/2 \mp H_y / H_t \cdot (1 - H_y^2 / H_t^2)^{1/2}]$$

으로 $H_y=0$ 에서 선형화됨을 알 수 있다.

그러나 실제 소자의 가장자리 부분에서는 전류의 흐름이 이상적인 경우와는 많은 차이를 보여 출력신호가 뒤떨리게 되고 비선형성이 나타나게 된다. 이러한 가장자리 효과를 보상하는 방법에는 다음과 같은 두 가지 방법이 있다.

첫째, 고투자율을 갖는 두 자성층의 사이를 MR소자가 연결함으로써 자기적인 분리를 유도하는 방법이다. (Fig. 10)

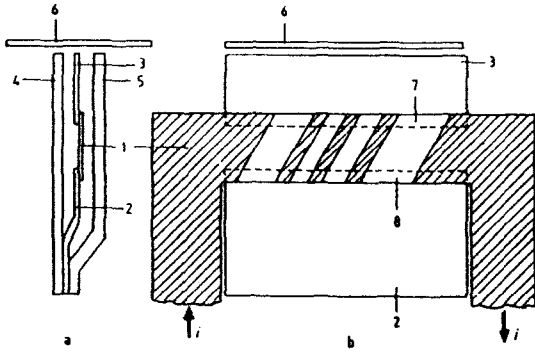


Fig. 10. Edge effect compensation by magnetically shorting the lateral areas of the MR layer.

- 1 : MR element
- 2 : thick layer of permalloy
- 3 : flux conductor 4, 5 : shields
- 6 : medium 7, 8 : lateral areas

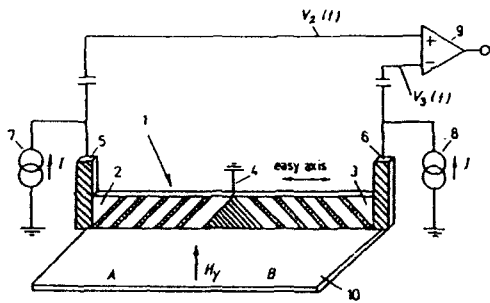


Fig. 11. Dual barber-pole-biased head.

- 1 : MR element 2, 3 : MR semi-elements
- 4 : central tap 5, 6 : contacts
- 7, 8 : constant current generators
- 9 : differential amplifier 10 : medium

둘째, 대칭적인 이발소 간판 구조의 자기 바이어스 (barber-pole self-biasing)를 이용하는 것이다. (Fig. 11)

이중 둘째 방법이 가장 효율적인 것으로 차동회로로 구성되므로 응답이 직선적이다. 앞서 언급한 어떠한 방법보다도 우수한 특성을 보이지만 이 경우에도 작은 소자에서 발생하는 다중자구 형성에 의한 Barkhausen 잡음은 억제해야 할 문제로 남는다.

단일 지구 상태를 유지하기 위해서는 약간의 길이방향 바이어스 자장이 필요하다. 이발소 간판 바이어스 헤드의

경우 기울어진 전도층을 통해 흐르는 감지전류는 선형화 뿐만 아니라 길이 방향 바이어스 자장까지도 공급해 준다 [21]. 그러나 폭이 소자의 높이보다 크지 않을 경우 소자 양쪽에서의 감도가 비대칭적인 현상이 나타나는 불리한 점이 있다. (Fig. 12) 이것은 가장자리 효과와 전도층의 유한한 전도도에 의해서 생기는 비선형 응답과 더불어 이 방법의 단점이지만 그럼에도 불구하고 현재까지 알려진 자장 감지 소자로서 가장 유용한 것으로 판명되었다.

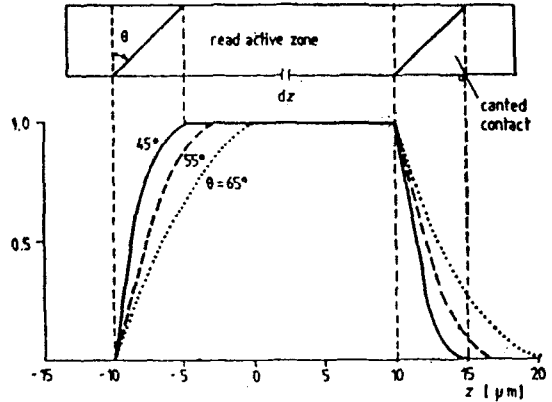


Fig. 12. Normalized read sensitivity profile of a barber-pole-biased head as a function of the distance across the track-width.

V. 자기저항소자의 자기차폐 (magnetic shielding) [22]

고밀도 디지털 기록에서 기록매체는 정현파 형태에 가까운 신호의 배열을 갖는다. 이러한 정현파의 파장은 두 극한 사이의 값을 갖게 되는데, 그 하한값 (λ_{min})은 기록 밀도에 의해 결정되며, 상한값 (λ_{max})은 기록밀도와 기록 방법에 의해 결정된다. 위상기록방식의 경우에는 $\lambda_{max} = 2\lambda_{min}$ 이다. 이때 기록파장에 대응하는 수직방향 누설 자계는 H_{min} 과 H_{max} 로써 고려할 수 있다. (Fig. 13)

MR소자에서 소자의 높이 h 는 소자의 동작 특성을 결정하는 큰 요인 중에 하나이다. 기록밀도가 증가할 수록 기록파장이 작아지므로 누설 자속이 감소하고 MR소자의 자속침투깊이도 감소한다. 이러한 효과는 MR효과의 감소를 초래할 것이다.

이러한 문제는 다음과 같은 두 가지 방법에 의해 보상될 수 있다.

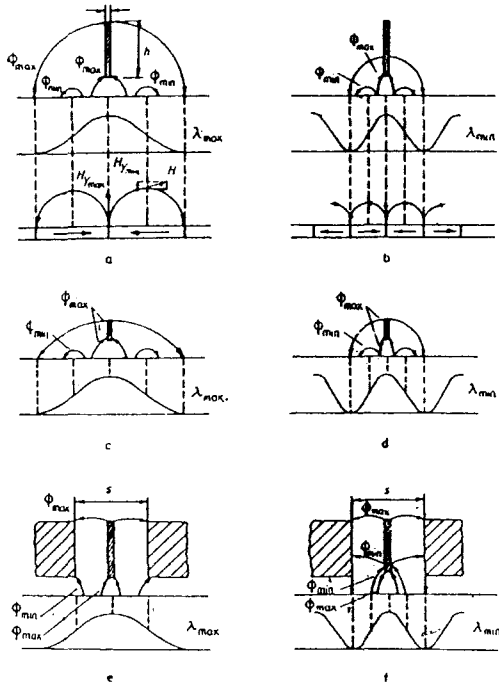


Fig. 13. Uniformization of the signal flux through the MR layer : unshielded element for $\lambda = \lambda_{max}$ (a) and $\lambda = \lambda_{min}$ (b), small height element (c, d) and shielded element (e, f).

첫째, 소자의 높이를 줄이는 것이다. (Fig. 13c, d)

둘째, MR소자의 강자성 차폐층 사이에 둠으로써 균일한 자속분포를 유도하는 것이다. (Fig. 13e, f)

그러나 첫번째 방법의 경우 높이 감소에 의해 증가된 자기저항을 MR층의 두께를 줄임으로써 해결하려 할 경우 낮은 자장에서 소자가 포화되는 문제점이 있고 매우 작은 높이의 소자의 경우 이온빔 에칭 등의 기법을 사용해야 하므로 비용이 많이 든다는 단점이 있어 저밀도 기록의 재생에 적합하다.

자기차폐층은 최소기록파장 이하의 간격으로 배치되어야 하는데, 이는 박막 유도 헤드에서 잘 알려진 gap 폭과 비트 폭의 관계와 유사하다. 그러나 유도형 헤드와는 달리 수평방향의 누설자속 대신 수직방향의 누설 자속을 감지하며, 기록매체로부터 멀리 떨어져 있을 때에만 자기회로를 형성한다. Fig. 13에서 자기차폐된 MR소자와 자기차폐되지 않은 MR소자의 주파수 특성을 정성적으로 살펴 볼 수 있다. 자기차폐된 경우에 보다 많은 자속이 MR층을 침투하므로 훨씬 높은 출력을 나타낸다. 따라서

자기차폐 헤드가 고밀도 기록 재생에 적합함을 알 수 있다.

MR 헤드는 유도형 헤드와는 달리 출력이 매체와의 상대 속도에 의존하지 않아 주파수에 무관할 것으로 생각되었으나 reciprocity theorem에 의하면 자기차폐 헤드의 경우 gap null 이라는 현상이 발생하므로 더이상 주파수에 무관하지 않다. 그러나 MR 소자를 자기차폐층 사이에 비대칭적으로 배치함으로써 이러한 문제점이 해결될 수 있음이 경험적으로 관찰되었다. (Fig. 14)

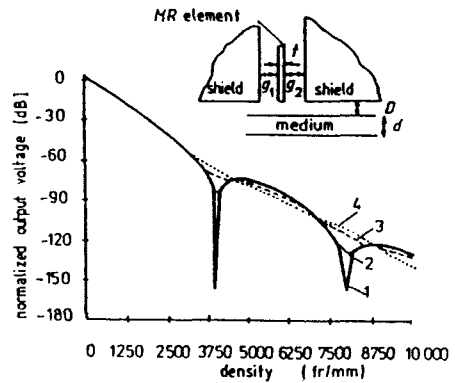


Fig. 14. Normalized readback voltage vs. recording density of the asymmetrical element.

- 1 : $g_1 = g_2 = 0.5 \mu m$
- 2 : $g_1 = 0.49 \mu m$ $g_2 = 0.51 \mu m$
- 3 : $g_1 = 0.45 \mu m$ $g_2 = 0.55 \mu m$
- 4 : $g_1 = 0.4 \mu m$ $g_2 = 0.6 \mu m$

VI. 기존 자기저항소재의 특성

현재 자기저항 소자에 사용되는 재료는 주로 Ni, Fe, Co 등의 합금으로써 수 %의 자기저항비를 보인다. 합금 조성에 따라 자기저항이 변화하며, 적절한 조성에서 최대의 자기저항비를 나타내는 것이 일반적이다. 몇가지 조성의 합금 재료의 특성을 살펴보면 표 I과 같다.

500 Å~2000 Å 정도의 박막이므로 자기저항 특성은 박막의 구조, 조성, 형성조건에 따라 큰 영향을 받게 된다. 박막의 두께가 증가하면 $\Delta\rho$ 는 일정한 ρ 가 감소하는 효과에 의해 자기저항비가 증가한다. (Fig. 15) 그러나 저항의 감소는 출력준위를 감소시키므로 자기저항이 적절히

Table I. Physical characteristics of several magnetoresistive alloys.

Composition	ρ_0 ($\mu\Omega\text{cm}$)	$\Delta\rho_{\text{max}}$ ($\mu\Omega\text{cm}$)	$\Delta\rho_{\text{max}}/\rho_0$ (%)	$M \times 10^5$ (A/m)	T_c (K)
98 % Ni 2 % Fe	12	0.36	3	0.55	655
92 % Ni 8 % Fe	12.9	0.7	5.4	0.66	716
83 % Ni 17 % Fe	14.9	0.64	4.3	0.81	805
95 % Ni 5 % Co	10.7	0.38	3.6	0.56	700
90 % Ni 10 % Co	11.1	0.55	4.9	0.62	760
70 % Ni 30 % Co	11.3	0.75	6.6	0.83	950

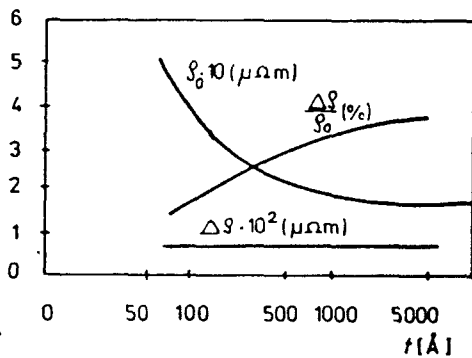


Fig. 15. Resistivity, magnetoresistance, and MR effect vs. the thickness of the magnetic layer.

유지되면서 저항이 너무 낮지 않도록 해야 한다.

대개 자기저항 소자는 자왜(magnetostriction)가 거의 없거나 적어도 음의 값을 갖아야 한다. 예를 들어 NiFe 합금의 경우 18 % 이상의 Ni 조성에서는 음의 자왜를 갖으나 79 % 미만의 조성에서는 양의 자왜를 갖는다. 그러나 yoke 형 MR 헤드의 경우에는 양의 자왜도 허용될 수 있다는 보고도 있다[23].

진공열증착에 의해 박막을 형성하는 경우 국부적인 조성불균일로 인해 두께에 따라서 조성이 변화하는 문제점이 있어 재현성 있는 박막을 얻기 위해서는 스퍼터링 방법의 사용이 바람직하다[24]. 박막형성 후 적절한 열처리에 의하여 이방성 자장, 보자력, 비저항, MR 비 등을 최적화 할 수 있다.

Ⅶ. 새로운 소재 개발에의 시도

자기저항 헤드는 유도박막헤드에 비해 출력이 높다는

장점이외에도 주파수 특성이 우수하다. 출력과 주파수 특성은 자기저항비에 크게 의존한다. 또한 강유전체 기억소자와 더불어 기존의 반도체 기억소자를 대체할 것으로 기대되는 MRAM(Magnetoresistive Random Access Memory)에서 자기저항비는 호출속도를 결정한다. 따라서 큰 자기저항비를 갖는 재료의 개발은 자기헤드 뿐만 아니라 기억소자 분야에서도 큰 변혁을 불러 일으킬 것이다.

한편, 최근에 거대자기저항 현상을 나타내는 인공초격자 소재가 발견되었다. 이러한 재료는 기존의 자기저항 소재보다 10배 이상의 자기저항비를 보여 자기저항비의 크기에 있어서는 엄청난 발전이다. 그러나 이와 같이 높은 자기저항을 보이기 위해서는 수백~수천 Oe의 자장이 요구되어 기록매체에서 누설되는 자장의 크기가 수십 Oe에 불과한 점을 고려해보면 이러한 인공초격자 재료를 자기저항헤드나 MRAM에 적용하기 위해서는 포화자장을 낮추어야 하는 것이 선결과제이다[7,8].

거대자기저항 현상은 그 학문적인 흥미와 응용시의 큰 기대효과로 인해 현상에 대한 이론적 규명과 응용시 요구되는, 높은 자기저항비를 유지하면서 낮은 포화자장을 갖는 재료의 개발을 위한 연구가 집중되고 있다[7,25,26]. 현재 거대자기저항의 원인에 대해서는 몇가지 가설이 있으나 아직 정확한 원인은 밝혀지지 않고 있다[27-29]. 그러나, 거대자기저항 현상의 기본 요건인 자성층간의 반평행 자화를 위한 상호작용력의 크기와 자기저항비와의 상관관계가 규명되고 자기저항비를 좌우하는 결정상을 찾아낸다면 응용 가능한 인공초격자재료가 개발될 수 있을 것이라 전망된다.

Ⅷ. 결 론

자기정보기록은 초고밀도화되고 정보의 기록방식도 더

시탈 방식으로 전환될 것이다. 자기저항헤드는 유도방식 헤드에 비해 높은 출력, 높은 해상도, 우수한 주파수특성 등으로 인해 그 응용성이 매우 크다. 정보의 기록이 불가능하다는 근원적인 결점에도 불구하고 박막유도헤드와 결합될 경우 차세대의 가장 중요한 헤드가 될 것이다. 고밀도 해독을 위해서는 소자의 크기 또한 감소해야 하며, 이 경우 Barkhausen 잡음의 억제가 가장 큰 문제인데, 이는 약간의 자화용이층 보조 자계를 가해주거나 층상박막을 사용하여 단일 자구 상태를 유지함으로써 해결될 수 있을 것이다.

최근에 새로 발견된 인공초격자재료가 자기저항 헤드 재료로써 응용된다면 높은 자기저항비와 층상구조로 인해 출력과 잡음 특성에 있어서 현저한 혁신이 있을 것으로 전망되며, MRAM 등의 기억소자 분야에서도 큰 변혁을 가져올 것이다.

참 고 문 헌

[1] P. Ciureanu and H. Gavrilă, *Magnetic heads for digital recording*, Elsevier, 1990, p. 455.

[2] D. P. Greeg, "U. S. Patent", No. 3344237 (1967).

[3] D. Thompson, L. Romankiw and A. Mayadas, *IEEE Trans. Magn.* **MAG-11**, No. 4, 1039 (1975).

[4] C. Rsang, M-M. Chen, T. Yogi, and K. Ju, *Gibabit density recording using dual-element MR/inductive heads on thin-film disks*, *IEEE Trans. Magn.*, **Vol. 26**, No. 5, (1990).

[5] K. Yamada, et. al., *Shielded magnetoresistive head for high density recording*, *IEEE Trans. magn.*, **Vol. 26**, No. 6, (1990).

[6] G. S. Mowry, et. al., *Thin-film magnetoresistive heads for narrow-track Winchester application*, *IEEE Trans. Magn.*, **Vol. 22**, No. 5, (1986).

[7] W. F. Egelhoff Jr. and M. T. Kief, *Phys. Rev. B*, **Vol. 45**, No. 14, (1992).

[8] J. M. Daughton, *Magnetoresistive memories-analogies with ferroelectrics*, *Ferroelectrics*, **Vol. 116**, 1991.

[9] B. D. Cullity, *Introduction to magnetic materials*, Addison Wesley, 1972.

[10] P. Ciureanu and H. Gavrilă, *ibid*, pp. 571-573.

[11] Fert, et. al. *Phys. Rev. Lett.*, **Vol. 61**, No. 21, (1988).

[12] D. M. Edwards, et. al., *IEEE Trans. Magn.*, **Vol. 27**, No. 4, (1991).

[13] S. S. P. Parkin, *Phys. Rev. Lett.*, **Vol. 67**, No. 25, (1991).

[14] S. K. Decker and C. Tsang, *Magnetoresistive response of small permalloy features*, *IEEE Trans. Magn.*, **Vol. 16**, No. 5, (1980).

[15] P. Ciureanu and H. Gavrilă, *ibid*, p. 583.

[16] *ibid*, pp. 583-587

[17] *ibid*, pp. 587-598

[18] *ibid*, pp. 598-606

[19] *ibid*, pp. 606-615

[20] *ibid*, pp. 615-634

[21] J. S. Y. Feng, et. al., *Magnetic self-bias in the barber pole MR structure*, *IEEE Trans. Magn.*, **Vol. 13**, No. 5, (1977).

[22] P. Ciureanu and H. Gavrilă, *ibid*, pp. 634-653.

[23] T. Miyauchi, et. al., *IEEE Trans. Magn.*, **Vol. 23**, No. 5, (1987).

[24] P. Ciureanu and C. Korony, "Sensors and actuators", **13**, 229 (1988).

[25] S. S. P. Parkin, *Appl. Phys. Lett.*, **60** (4), (1992).

[26] T. Shinjo and H. Yamamoto, *J. Phys. Soc. Japan*, **Vol. 59**, No. 9, (1990).

[27] P. M. Levy, et. al., *J. Appl. Phys.*, **67**(9), (1990).

[28] R. E. Camley and J. Barnas, *Phys. Rev. Lett.*, **Vol. 63**, No. 6, (1989).

[29] J. Mathon, *Theory of magnetic multilayers. Exchange interactions and transport properties*, *JMMM*, 1991.