

실리콘 磁氣센서技術

이승기* · 한민구**

(*서울대 대학원 전기공학과 박사과정, **동 부교수)

1. 서 론

일반적으로 자기센서라 함은 자기 현상과 관련 있는 모든 종류의 센서를 일컫는 말이다. 따라서 그 종류 및 범위가 매우 넓고 다양하다. 그러나 마이크로 센서의 범위내에서 자기센서의 범위는 주로 반도체 물질을 사용하는 경우로 국한되어질 수 있고 특히 최근의 자기센서 분야에서의 연구동향은 대부분 실리콘 기술을 이용하는 것이라고 할 수 있다[1].

반도체를 이용한 자기센서는 기본적으로 電磁효과 (galvanomagnetic effect)를 이용하며 전자효과는 물질내에서의 반송자(carrier)의 이동도(mobility)가 클수록, 도우핑 농도가 낮을수록 극대화 되므로 초기 연구 단계부터 반도체가 주목을 받아온 것은 필연적이라 할 수 있다[2]. 그러나 초기에는 InSb와 같이 전자 이동도가 매우 큰 화합물 반도체에 대한 연구가 대부분이었던데 비해 최근에는 실리콘 공정 기술의 급격한 발전에 힘입어 실리콘을 이용한 자기 센서의 개발 및 특성 등에 관한 연구가 마이크로 센서의 한 분야로서 매우 활발히 진행되고 있다[3]. 실리콘을 이용한 자기센서는 다른 마이크로 센서 분야와 마찬가지로 센서부외에 기타 신호처리부를 한 개의 칩상에 집적시키는 스마트 센서(smart sensor)의 개발이 가능하며 기존의 표준 공정을 이용하므로 신뢰도가 높고 소자 제작비용이 저렴하다는 장점을 갖는다[4].

실리콘을 이용한 자기센서는 기본적으로 메모리

소자의 특성 위에 최적의 민감도를 가질 수 있는 구조로 나타나게 되며 따라서 각 메모리 소자의 형태에 따라 다음과 같이 종류를 구별할 수 있다.

- Integrated Hall Plate
- MAGFET (MAGnetic field sensitive Field Effect Transistor)
 - Hall type MAGFET
 - Split Drain type MAGFET
- MT (MagnetoTransistor)
 - VMT (Vertical bipolar MT)
 - LMT (Lateral bipolar MT)
- MD (MagnetoDiode)
 - SOS MD (Silicon On Sapphire MD)
 - CMOS MD (Complementary Metal Oxide Semiconductor MD)
- CDM (Current/Carrier Domain Magnetometer)
 - HCDM (Horizontal CDM)
 - VCDM (Vertical CDM)

本稿에서는 자기센서의 기본이론인 전자효과와 각 소자들의 대표적인 구조 및 동작 원리 등을 알아 보고, 이들의 중요한 용도에 대해서 개략적으로 기술하도록 하겠다.

2. 반도체에서의 電磁효과

반도체 자기센서에 응용되어지는 가장 중요한 전자효과인 Hall 효과는 1879년 E. Hall에 의해 발견

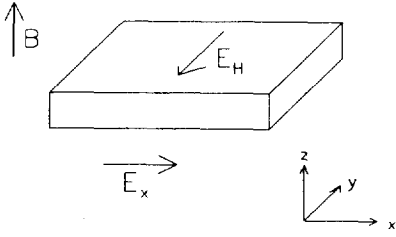


그림 1. Hall 소자에서의 전계와 자계

되어졌다[5]. 서로 수직으로 인가되어지는 전기장과 자기장내의 금속 박판에서 발견되어진 Hall 효과는 이후 고체 물질들의 성질을 연구하는 데에 매우 중요한 현상으로 연구되어졌고, 1980년대 이후 활발히 전개되어온 실리콘 자기센서의 기본적인 물리현상으로서 이용되어져 왔다.

Hall 효과의 일반적인 표현으로서 그림 1과 같은 반도체 박판에 전자와 정공이 서로 비슷한 양으로 함께 존재하고 x 방향으로는 전계를, z 방향으로는 자계를 인가하는 경우를 생각할 수 있다. 이때 자장에 의한 로렌쯔 힘에 의해 y 방향으로 생겨나는 전계를 Hall 전계라 하고, Hall 전계와 인가한 전계에 의한 전류사이의 관계가 Hall 계수에 의해 수식화 되어질 수 있다[5].

x 방향과 y 방향으로 전자가 받는 힘은

$$m_e \frac{dv_x}{dt} = -qE_x - qv_y B \quad (1a)$$

$$m_e \frac{dv_y}{dt} = -qE_y - qv_x B \quad (1b)$$

와 같이 주어진다. 여기서 m_e 는 전자의 질량이고 E_x 는 외부에서 인가한 전계, E_y 는 유기되어지는 Hall 전계를 뜻한다. 식 (1a)의 우변의 두번째 항은

$$-qv_y B = q\mu_n E_y B = qE_x (B\mu_n)^2 \quad (2)$$

와 같이 쓸 수 있고, 이때 μ_n 은 전자의 이동도를 뜻한다. 여기서 $E_y = B\mu_n E_x$ 의 관계를 이용하였다. 모든 반도체 자기 센서는 약한 자장에 대한 것이므로 식 (2)의 값은 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정할 수 있다. 따라서 식 (1a)는

$$m_e \frac{dv_x}{dt} = -qE_x \quad (3)$$

와 같이 단순화되고, 이 식을 t에 대해 적분하면

$$v_x = -\mu_n E_x \quad (4)$$

의 관계를 얻을 수 있다. 이 식을 식 (1b)에 대입하면

$$m_e \frac{dv_y}{dt} = -qE_y - qB\mu_n E_x \quad (5)$$

의 식을 얻을 수 있고, 마찬가지로 t에 대해 적분하면

$$v_{yn} = -\mu_n E_y - \mu_n^2 B E_x \quad (6)$$

의 관계를 얻을 수 있다. 여기서 v_{yn} 은 전자의 y 방향으로의 속도 성분을 뜻한다. 마찬가지로 방법으로 정공에 대해서도 같은 속도 성분을 계산할 수 있으며

$$v_{yp} = \mu_p E_y - \mu_p^2 B E_x \quad (7)$$

와 같이 주어진다. 이제 식 (6)과 (7)로부터 y 방향의 전류 성분을 구하면

$$\begin{aligned} J_y &= -nqv_{yn} + pqv_{yp} \\ &= nq\mu_n E_y + nq\mu_n^2 B E_x + \\ &\quad pq\mu_p E_y - pq\mu_p^2 B E_x \end{aligned} \quad (8)$$

과 같이 쓸 수 있고, 정상 상태에서 $J_y = 0$ 이라 놓으면 Hall 전계 E_y 에 관해 정리할 수 있게 된다. 즉,

$$\begin{aligned} E_y &= \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{p\mu_p + n\mu_n} E_x B \\ &= \frac{(p\mu_p^2 - n\mu_n^2)}{q(p\mu_p + n\mu_n)^2} JB = R_H JB \end{aligned} \quad (9)$$

와 같이 나타나고 이때 Hall 계수 R_H 는

$$R_H = \frac{(p\mu_p^2 - n\mu_n^2)}{q(p\mu_p + n\mu_n)^2} \quad (10)$$

로 정의되어진다.

3. 실리콘 자기센서의 종류 및 원리

3.1 Hall Plate

실리콘 자기센서 중 가장 간단한 형태로서, 1950년대 이후 InSb 등을 이용한 단위소자로 개발되어지다가[6] 1970년대 이후에는 실리콘을 이용한 집적화된 소자로 연구가 계속되어졌다. 가장 대표적인 구조는 그림 2와 같이 바이폴라 공정을 이용해서 제작할 수 있다[3]. 이때 n 에피층이 하나의 Hall 소자로 작용하고 p isolation 층과의 역방향 전압에 의해 소자 isolation이 이루어진다. C1, C2 전극은 외부에서 인가하는 입력 전극이고, 소자 표면에 수직한 자장이 인가되면 로렌즈 힘에 의해 유기되는 Hall 전압은 출력 전극 S1, S2에 의해 검출되어진다.

3.2 Magnetodiode

반도체 소자들의 전류-전압 특성은 자장의 인가에 의해 변화하게 되며, Magnetodiode는 이러한 특성을 이용한 소자들 중 가장 먼저 연구되어진 가장 간단한 소자로서, 다이오드의 구조와 특성을 이용하

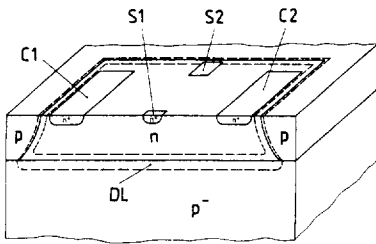


그림 2. 바이폴라 공정을 이용한 Hall Plate(DL : 공핍층, S1 S2 : 센서전극, C1 C2 : 전류전극)

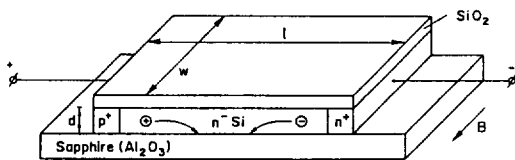


그림 3. Silicon-On-Sapphire 기술을 이용한 Magnetodiode

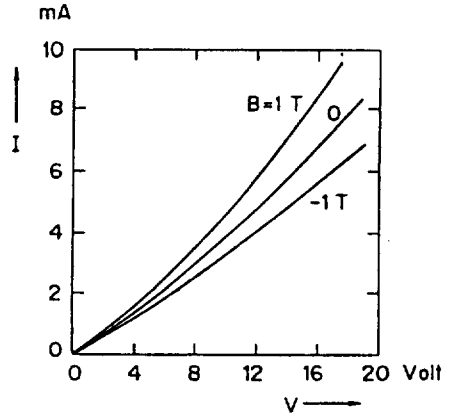


그림 4. SOS Magnetodiode의 I-V 특성

게 된다.

Silicon-On-Sapphire 기술을 이용하는 대표적인 Magnetodiode의 구조가 그림 3에 나타나 있다[7]. 기본적으로 p⁺n⁺n⁺의 구조를 가지며 소자 윗부분은 Si-SiO₂ 경계로서 낮은 재결합 속도를, 아랫부분은 Si-Sapphire 경계로서 높은 재결합 속도를 나타내게 된다. 다이오드가 순방향으로 바이어스된 상태에서 전자와 정공들이 n⁺와 p⁺ 영역에서 각각 n⁻ 영역으로 주입되어지고, 그림과 같은 방향으로 자장이 인가되어지면 주입된 전자와 정공들이 로렌즈 힘에 의해, 재결합 속도가 큰 소자 아랫부분으로 휘어지게 된다. 따라서 전체적으로 재결합 속도가 큰 소자 아랫부분으로 휘어지게 된다. 따라서 전체적으로 재결합이 증가하고 전류도 이에 따라 증가하게 된다. 자장의 방향이 반대가 되면 반대로 전류는 감소하게 되며 이와 같은 다이오드의 전류-전압 특성의 변화가 그림 4와 같이 나타나게 된다.

3.3 MAGFET

3.3.1 Hall type MAGFET

일반적인 Hall 소자의 관점에서 보면 유기되어지는 Hall 전압은 Hall 소자의 두께가 얇을수록 증가하게 된다. 3.1절의 Hall Plate의 경우 소자의 두께는 에피층의 두께에 의해 결정되어진다. 그러나 그림 5와 같은 MOS 구조에서 N 채널을 Hall 소자처럼 이용하면[8] 채널의 두께가 소자의 두께가 되며 이것은 게이트에 인가하는 전압에 의해 조절되어질

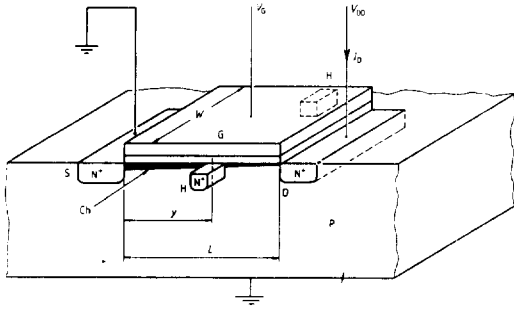


그림 5. Hall type MAGFET

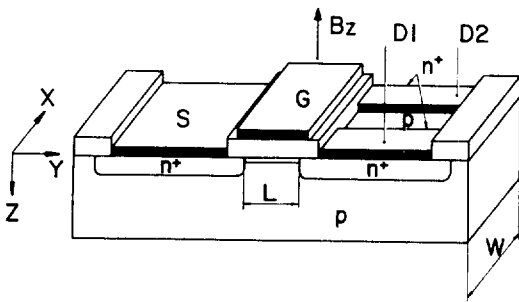


그림 6. Split-Drain type MAGFET

수 있다. 이때 채널의 바깥쪽 영역에, 유기되어지는 Hall 전압을 측정할 수 있는 출력 전극을 소오스와 드레인 공정과 동일하게 형성시킬 수 있으므로 채널을 하나의 Hall 소자처럼 동작시킬 수 있게 된다.

3.3.2 Split-Drain type MAGFET

기본 구조는 그림 6과 같이 두개의 분리된 드레인을 갖는 MOS 형태를 갖는다[9]. 그림과 같이 표면에 수직하게 자장이 인가되어지면 드레인 전류는 로렌즈 힘에 의해 왼쪽으로 휘어지고 이에 따라 두개의 드레인 전류에 불균형이 생기게 된다. 이러한 드레인 전류의 불균형이 자장의 세기를 측정하는 데에 이용되어진다.

3.4 Magnetotransistor (MT)

3.4.1 Vertical MT

소자 표면에 평행한 자장을 검출할 수 있는 소자로서 그림 7과 같은 구조를 갖는다[10]. 두개의 컬렉터가 서로 대칭으로 놓여 있고, 에미터에서 주입된 전자들은 좌우로 분리되어 양쪽 컬렉터 전류는

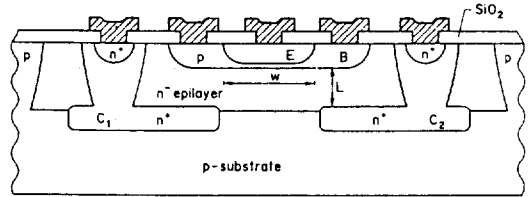


그림 7. Vertical Magnetotransistor

서로 같은 값을 갖는다. 그러나 자장이 인가되면 에피층에서 전자들이 어느 한쪽으로 휘어져 좌우 컬렉터 전류에 불균형이 생기게 되고 이 차에 의해 자장의 크기를 감지할 수 있다.

3.4.2 Lateral MT

기본적으로 Vertical MT와 동일하나 Lateral 트랜지스터를 이용하고 표면에 수직한 자장을 검출하게 된다. 그림 8과 같이 두개의 컬렉터에 나타나는 전류차에 의해 자장을 검출하게 된다[11].

Vertical MT의 경우 전자들이 컬렉터 영역에서 휘어지는 정도에 의해 좌우 컬렉터 전류가 변화하는 캐리어 디플렉션 모델(Carrier Deflection Model)로 설명되어지만 Lateral MT의 경우는 에미터 인젝션 모듈레이션(Emitter Injection Modulation) 모델로 동작 원리가 설명되어진다. 즉 그림 8과 같은 구조에서 베이스 전극 B1을 활성화 시키고 B2를 부동 상태로 놓으면 에미터에서의 전자 주입은 B1 쪽으로 발생하여, 자장에 의해 에미터-베이스 접합면 부근에 그림과 같은 전자 재분포를 형성하게 된다.

이에 따라 에미터 오른쪽 부분의 에미터-베이스 순방향 전압은 증가하고 왼쪽 부분은 감소하여 전체

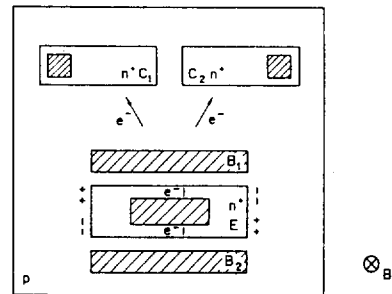


그림 8. 에미터 인젝션 모듈레이션을 보여주는 Lateral Magnetotransistor

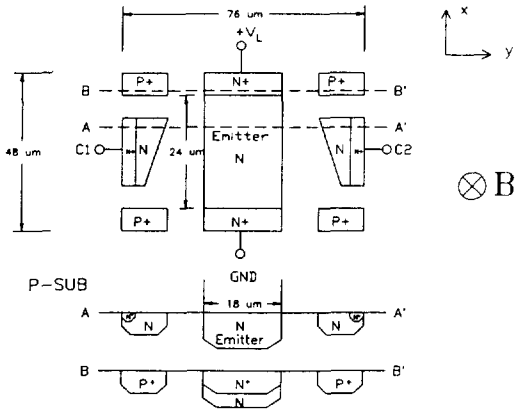


그림 9. 분리된 전계를 갖는 Magnetotransistor의 평면도 및 단면도

적으로 우측 컬렉터 전류가 증가하게 된다. B2를 활성화시키고 B1을 부동 상태로 놓으면 반대로 좌측 컬렉터 전류가 증가하게 되며 이러한 실험적 사실은 캐리어 디플렉션 모델만으로는 설명이 불가능한 현상이다. 이러한 두가지 동작 원리에 대해서는 많은 논란이 있어 왔으나 1989년, 일반적인 MT구조에서 에미터 인젝션 모듈레이션의 영향을 정량적으로 측정하여, 이 효과가 매우 미약한 것임이 발표되어졌다[12].

그러나 최근에 에미터 인젝션 모듈레이션 효과가 일반적인 MT 구조에서 매우 약하게 나타나는 현상을 이론적으로 설명할 수 있는 새로운 모델이 제안되어지고 이에 따라 에미터 인젝션 모듈레이션 효과를 극대화 시킬 수 있는 소자 구조가 제안되어졌다[13]. 이 모델에 의하면 일반적인 MT 구조에서 에미터 인젝션 모듈레이션을 일으키는 현상은 diffusion과 관련이 있으며, 이 양은 drift와 비교할 때 매우 작게 나타나게 된다. 따라서 그림 9와 같은 분리된 전계를 갖는 소자 구조가 제안 되어졌으며, 이 소자는 에미터 인젝션 모듈레이션에 의해 설명이 가능하고, 기존의 소자에 비해 10배 이상의 민감도를 갖는 것으로 나타났다[14].

3.5 Current/Carrier Domain Magnetometer

지금까지의 소자와 다른 동작 원리를 갖는 소자로서 그림 10과 같이 복잡한 npnp 구조를 갖는다[15].

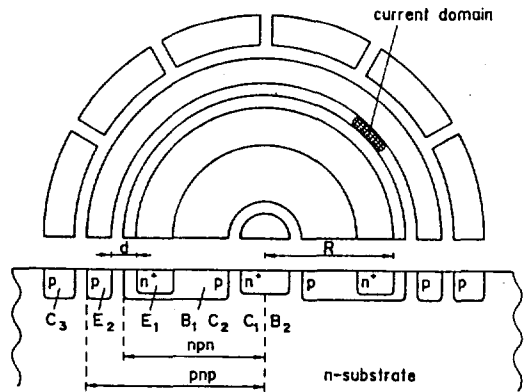


그림 10. Carrier/Current Domain Magnetometer

이 소자는 중심부에 Vertical npn 트랜지스터(E₁-B₁-C₁) 구조를 갖고, 바깥쪽으로 Lateral pnp 트랜지스터(E₂-B₂-C₂) 구조를 갖는다. 적절한 전압이 인가 되어지면 npn 트랜지스터의 에미터에서 전자들이 주입되고, pnp 트랜지스터의 에미터에서 정공들이 주입되어 pnp 트랜지스터의 베이스로 향하게 된다.

이러한 전자와 정공들의 주입은 전위 분포를 변화시켜, 전류가 원주 주위의 작은 영역에 집중되어지는 current domain을 형성하게 된다. 이때 소자 표면에 수직한 방향으로 자장을 인가하면, current domain은 로렌즈 힘에 의해 회전하기 시작하고 가장 바깥쪽에 있는 12개의 p 영역으로 부터 전류를 측정하여 current domain의 회전 주파수를 검출할 수 있게 된다.

4. 실리콘 자기센서의 용도[1-3]

4.1 Hall Plate에 의한 자계의 측정

실리콘의 전자 이동도가 그리 크지 않기 때문에 Hall Plate 자체의 민감도는 그다지 커지지 않는다. 비교적 잘 측정되어질 수 있는 자장의 범위는 0.1 mT에서 1 T 정도이며 offset 등의 문제로 인해, 일반적으로 다른 신호처리부가 Hall Plate와 함께 하나의 칩에 집적되어진다. 이와 같은 Hall IC는 이미 상용화 되어 있다.

4.2 Hall Plate에 의한 전류의 측정

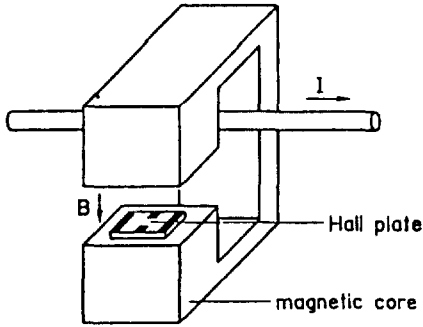


그림 11. 전류의 비접촉 측정을 위한 자기 코어 및 Hall Plate

자장의 방향이 일정한 경우 전류의 비접촉 측정이 가능하다. 그림 11과 같이 Hall Plate와 자기 코어로 구성되어진 경우, 전류에 의해 유기된 자장이 軟 자성체인 자기 코어를 자화시키고 이에 따라 Hall Plate에 Hall 전압이 유기되어진다. 이와 같은 방법은 회로의 끊어짐(interrupt) 없이 전류의 측정이 가능하다는 장점을 갖고 있다.

4.3 변위 측정 및 근접 스위치

Hall Plate나 Magnetotransistor 등을 영구 자석과 조합하여 사용하면 위치, 변위, 속도, 가속도, 각 등의 기계적 변수들을 비접촉으로 측정할 수 있다. 광 센서 등을 이와 같은 용도로 사용할 때 빛이 투과할 수 있는 물질을 사용해야 하지만 자장은 비자성체 물질을 쉽게 투과하므로 자기센서에서는 encapsulation 등의 문제가 생기지 않는다.

그림 12와 같이 슈미트 트리거(Schmitt trigger)를 집적시킨 자기센서는 비접촉 스위치로 작용한다. 가장 중요한 응용중의 한 예는 컴퓨터의 키보드로서, 키 내에 작은 자석이 들어 있고 키를 누르는 것이 자석과 Hall Plate 간의 거리를 변화시키게 된다. 이때 유기되는 Hall 전압이 슈미트 트리거를 작동시키게 된다.

Hall Plate의 아날로그 출력을 이용하면 위치나 변위의 측정이 가능하다. 자장과 운동의 방향에 따라 그림 13과 같이 몇가지 경우를 생각할 수 있다.

a)의 경우에는 선형적이지는 않더라도 거리의 직접 측정이 가능하며,

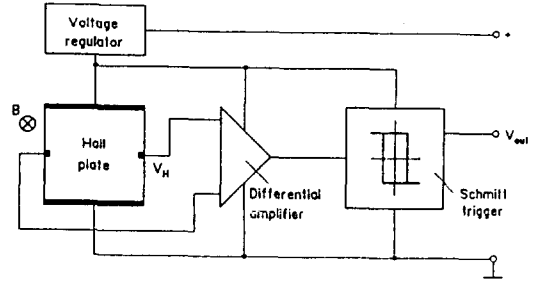


그림 12. 슈미트 트리거를 이용한 Hall Plate

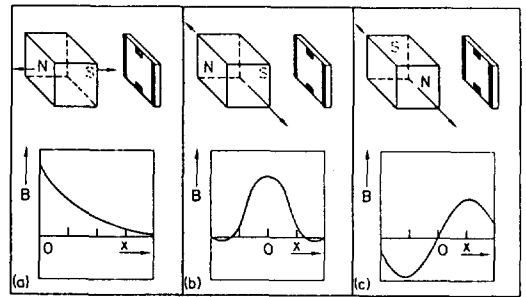


그림 13. Hall Plate에 의한 변위의 측정 ;

- a) 자장과 운동의 방향이 Hall Plate에 수직,
- b) 자장은 수직, 운동의 방향은 평행,
- c) 자장과 운동의 방향이 Hall Plate와 평행

b)의 경우는 소형 자석을 함께 이용하여 물체의 수를 세는 것이 가능하다.

c)의 경우에는 좁은 영역에서의 선형성에 의해 변위의 측정이 가능해진다.

이 밖에 무 정류자 전동기 등에서 고정자 코일 전류의 변화, 자동차 엔진에서의 동작부, 크랭크 축의 위치 측정 등에 사용되어질 수 있다.

4.4 Hall multiplier

Hall 전압이 전류와 자장의 곱에 비례한다는 사실은 아날로그 multiplier의 제작을 가능하게 해준다. 이러한 응용의 좋은 예는 그림 14와 같은 전력계를 들 수 있다. 그림에서와 같이 자기 코어의 공극 사이에 Hall Plate가 존재하고 부하에 흐르는 전류는, 이 전류에 비례하는 자장을 발생시킨다. 또한 변압

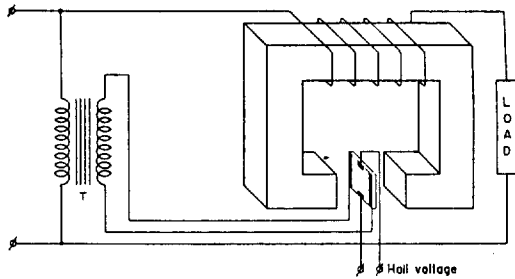


그림 14. Hall 전력계

기 T를 통해서, 부하에 걸리는 전압에 비례하는 전류가 Hall Plate로 흐르게 된다. 따라서 검출되어지는 Hall 전압은 부하에서 소모되어지는 전력에 비례하게 된다.

5. 결 론

本稿에서는 반도체 자기센서에 이용되는 기본 원리인 Hall 효과, 실리콘을 이용한 자기센서의 종류 및 동작 원리, 그리고 용도 등에 대해서 간략히 기술하였다.

많은 자기센서들 중에서 어느 것이 가장 좋은가는 간단히 결정되어질 수 없으며 특정한 응용에 따른 요구 조건에 따라 달라지게 된다. 높은 민감도를 요구하거나 저주파 영역에서의 잡음 등이 문제가 되는 경우에는 Magnetotransistor가 유리하고, 고주파 영역에서의 잡음, offset, 선형성이나 온도 보상 등의 면에서는 Hall Plate가 유리하다고 할 수 있다. 또한 대단히 낮은 전류에서 높은 민감도를 얻기 위해서는 Split-Drain type MAGFET이 가장 유리하다. 그러나 일반적 관점에서 보면 Hall Plate가 지금 현재 가장 성숙한 소자인 것으로 보이고, 과학적 연구나 응용 가치면에서는 Lateral MT가 가장 연구 가치가 있는 것으로 보인다. 또한 최근의 CMOS 기술의 중요성으로 볼 때, CMOS compatible Lateral MT가 가장 우수한 소자라고 할 수 있다.

이 밖에 本稿에서는 다루지 않았으나 3차원 벡터 센서나 자기센서의 수치 해석 등도 최근에 활발히 진행되어지고 있는 연구 분야이다. 모든 실리콘 자기센서가 상용화 되어지는데 있어 가장 큰 문제점은 민감도를 증가시키는 것이며, 최근의 세계적인 연구

동향은 민감도를 증가시킬 수 있는 새로운 구조의 개발에 집중되어지고 있다. 실리콘 자기센서의 역사가 길지 않음에도, 그동안 발전되어온 과정을 되돌아 보면 가까운 장래에 많은 부분의 자기센서들이 실리콘 자기센서로 대체되어질 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] R. Boll and K.J.Overshott (Ed). *Magnetic Sensors*, Chap. 1, Verlagsgesellschaft, 1989.
- [2] C.Hilsum, "Galvanomagnetic Effects and Their application", *British J.Appl.Phys.*, vol.12, pp. 85-91, 1961.
- [3] H.P.Baltes and R.S.Popovic, "Integrated Semiconductor Magnetic Field Sensors", *Proc. of the IEEE*, vol. 74, pp. 1107-1132, 1986.
- [4] S.Middelhoek and A.C.Hoogerwerf, "Smart Sensors : When and Where?", *Sensors and Actuators*, vol. 8, pp. 39-48, 1985.
- [5] R.A.Smith, *Semiconductors*, Cambridge University Press, pp. 104-110, 1978.
- [6] H.Freller and K.G.Günther, "Galvanomagnetic Thin Film Devices", *The Radio and Electronic Engineer*, August, pp. 97-107, 1967.
- [7] R.S. Popovic, H.P.Baltes and F.Rudolf, "An Integrated Silicon Magnetic Field Sensor Using the Magnetodiode Principle", *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 31, pp. 286-291, 1984.
- [8] R.S.Popovic and H.P.Baltes, "A CMOS Magnetic Field Sensor", *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol. 18, pp. 426-428, 1983.
- [9] A.Nathan, A.M.J.Huiser, H.P.Baltes and H.G. Schmidt-Weinmar, "A Triple-Drain MOSFET Magnetic-Field Sensor", *Can.J.Phys.*, vol. 63, pp. 695-698, 1985.
- [10] V.Zieren and B.P.M.Duyndam, "Magnetic-Field-Sensitive Multicollector n-p-n Transistors", *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 29, pp. 83-90, 1982.
- [11] A.W.Vinal and N.A.Masnari, "Magnetic Transistor Behavior Explained by Modulation of Emitter Injection, not Carrier Deflection", *IEEE Electron Device Letter*, vol. 3, pp. 203-205, 1982.
- [12] A.Nathan, K.Maenaka, W.Allegretto, H.P.Baltes and T.Nakamura, "The Hall Effect in Integrated Magnetotransistors", *IEEE Trans. on Electron*

Devices, vol. 36, pp. 108-117, 1989.

- [13] S.K.Lee, K.H.Oh, J.K.Rhee, K.J.Jhun and M.K. Han, "A Novel Magnetotransistor Based on the Drift Current in the emitter", *Proc. of the 6th International Conf. on Solid-State Sensors and actuators*, pp. 428-431, June, San Francisco, California, USA, 1991.

- [14] 이승기, "박막형 InSb 및 실리콘 자기센서의 설계 및 분석", 공학박사 학위논문, 서울대학교, 1992.
- [15] R.S.Popovic and H.P.Baltes, "A New Carrier-Domain Magnetometer", *Sensors and Actuators*, vol. 4, pp. 229-236, 1983.



이승기(李承起)

1963년 5월 15일생. 1986년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 서울대 대학원 전기공학과 박사과정.



한민구(韓民九)

1948년 7월 21일생. 1971년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 미국 Johns Hopkins Univ. 졸업(공학박사). 1979년 미국 뉴욕주립대 조교수. 현재 서울대 공대 전기공학과 부교수. 당학회 편집이사.