

Hall효과를 이용한 InSb 자기 Sensor에 관한 연구

진 춘 생

인하대학교 공과대학 전기공학과

A Study on InSb Magnetic Sensor using Hall Effect

Chun-Sang Chon

Department of Electrical Engineering Inha University

초 록 이 논문은 glass 기판에 InSb를 진공증착시킨 InSb 박막 자기 sensor에 대하여 연구한 것으로 Hall효과를 이용하여 자계 및 온도에 대한 Hall 전압의 의존성을 조사하였다. 일정전류구동에서 자계에 대한 Hall전압의 변화는 거의 직선적이었으나 정전압구동에서는 직선성에서 벗어나는 것을 보였다. 주위 온도가 증가함에 따라 Hall전압이 감소하였으며 InSb 증착막을 자기 sensor로 사용하는 경우, 온도 특성을 고려할 필요가 있다.

ABSTRACT InSb thin film magnetic sensor, which have been prepared on glass substrate by vacuum evaporation, is investigated in this paper. The dependance of Hall voltage on magnetic field and temperature is examined by Hall effect. The variation of Hall voltage with magnetic field is almost linear at constant current drive but it is deviated from the linearity at constant voltage drive. Hall voltage decreases as the ambient temperature increases, so it is necessary to take into account the temperature effect when the InSb thin film is used as magnetic sensor.

I. 서 론

반도체 자기 sensor의 기초가 되는 Hall효과 1879년 미국 John Hopkins대학의 E.H Hall에 의해 발견된 이래, 반도체의 물리적 현상의 연구에 주로 이용되어 왔다. 그러나 자기 sensor같은 공학적인 분야에 응용되기까지는 약 100년이라는 오랜 시간이 걸렸다.

이같이 오랜 시간을 요하게 된 배경에는 사회적 필요성이 충분히 성숙되어 있지 않았고 그리고 최근에 들어서야 반도체 재료 및 소자 기술이 많이 진보되었기 때문이다.

1950년대에 서독에서 III-V족 화합물 반도체, 특히 InSb이나 InAs, GaAs등이 높은 carrier이동도를 가진 것이 발견되어 자기 sensor, 특히 Hall 소자의 연구가 시작되어 1960년대에 들어서 기계적인 방식에 의해 응용되었던 Hall소자는 1970년대에 들어서 점차적으로 IC화 되고 이것이 광범위한 분야에 이용되기 시작하였다.

Sensor는 소형이고 취급이 간편하며 고신뢰

성이 요구되므로 이러한 조건에 충족되는 것으로 일반적으로 반도체 sensor를 들 수 있다.

자기 sensor는 자속계와 같이 자기적인 양의 측정에만 이용되는 것이 아니고 최근에는 자계를 매체로하여 변위, 진동, 압력, 각도, 회전수, 속도, 유량, 전류, 전력등 다양한 물리량의 측정에 이용되고 있다.¹⁾

본 연구에서는 n형 반도체인 InSb를 유리 위에 진공증착하여 Hall소자를 제작하고 Hall효과를 이용하여 자기 sensor로서의 물리적 특성을 측정, 조사하였다.

InSb는 InAs나 GaAs와 마찬가지로 III-V족 화합물 반도체이며 결정구조도 같은 헥사연 구조를 하고 있다. 이 반도체는 금지대 폭이 0.17eV가 되어 상당히 좁다. 이 때문에 전자의 유효질량 m^* 가 $0.015m_0$ (m_0 는 자유전자의 질량)이며 다른 반도체의 유효질량보다 훨씬 작다. 또 이동도 μ 도 실온에서는 $70,000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 이상에 도달한다. 캐리어 농도 n 도 10^{16}cm^{-3} 이하의 순도가 높은 결정도도 현

재 성장시키고 있다. 이상의 내용들이 Hall소자 뿐만 아니라 자가 저항 소자의 주된 재료로 이용되는 원인이 된다. 한편 이와 같은 잇점에 반하여 전술한 것 같이 금지대 폭이 좁으므로 캐리어의 농도가 온도에 의하여 많이 변화한다는 단점이 있다.

2. 실험방법 및 장치

2-1. 시편제작

Fig. 1은 본 실험에 이용된 진공증착 장치이다.

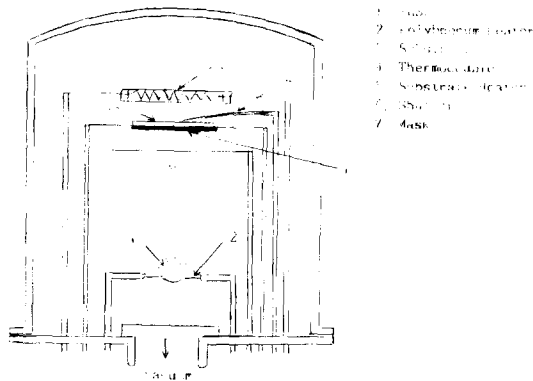


Fig. 1. Vacuum evaporation system.

본 실험에 사용한 진공증착장치는 배기속도 330 l/min인 유회전펌프(영, Edward 제 ED-330)와 10^{-7} torr까지 배기 가능한 유확산펌프(한국, 고려화학)로 구성된 진공증착기이며, bell jar내부구조는 Fig. 1과 같이 장치하였다.

증발물질은 InSb(미, purity 99.99%, m.p, 점천이화학)를 사용하여 진공증착하였다.

증발원 heater와 기판사이의 거리는 6.5cm 이고 그 중간에 설치한 shutter를 이용하여 증착시간을 조절하였다. 증발원 heater는 Mo wire를 spiral형으로 감고 기판의 heater는 tungsten halogen lamp에 반사갯을 만들어 설치하고 기판의 온도를 조절하였으며, 이때 기판의 온도는 열전대(C.A)를 이용하여 측정하였다. 증착시 bell jar내부의 진공도는 1.0×10^{-5} torr를 유지시켰다.

기판으로는 microscope slide glass를 이용하였으며 기판의 세척은 증성세제를 사용하여 지방분을 제거하고 흐르는 물에 씻어 초음파 세척을 하였다. 그 다음에 증류수, alchole, ac-

etone으로 닦아낸 후 400°C의 항온조내에서 30분 정도 건조시켜 사용하였다.

기판에 증착된 InSb의 결정성의 성장과 미세구조내의 불완전성을 보완하기 위하여 약 10^{-3} torr의 진공로중에서 400~600°C 정도의 30분간 열처리하였으며 온도상승시간과 하강시간은 서서히 조정하였다.

증착막의 넓이는 4mm×12mm이며 박막의 두께는 광의 간섭현상을 이용한 interferometer로 측정하였다. 이 결과 0.8mm~1mm정도의 InSb 박막두께를 얻었다.

2-2. 실험방법 및 장치

우선 Hall소자의 출력전압 V_H 에 관하여 간단히 설명하겠다. 이미 알고 있는 것 같이 V_H 는

$$V_H = (R_H \cdot I_c \cdot B) \frac{1}{t} \times 10^{-8} (mV)$$

이 식에서 Hall계수 R_H 는

$$R_H = \frac{r}{qn}$$

가 된다. 위 식에서 I_c 는 제어전류(mA), B 는 자속밀도, t 는 소자의 두께, n 은 캐리어 농도, q 는 캐리어의 전하, r 는 1에 가까운 산란기구에 의존하는 양이다.

Hall소자의 높은 출력전압을 얻으려면 위 식에서 아는 것 같이

- i) 소자의 두께를 얇게 한다.
- ii) 캐리어의 농도를 적게 한다.
- iii) 소자에 큰 전류를 흘린다.
- iv) 높은 자속밀도를 가한다.

등이다. 특히 iii) 경우에는 주열에 의하여 소자온도가 올라가면 캐리어 밀도가 커지므로 이동도가 큰 반도체 재료를 택하게 된다.

이상적인 Hall소자에서는 자계가 가해지지 않은 경우, Hall전압은 영이어야 한다.

그러나 전극의 부착위치가 대칭성으로부터 벗어나거나, 증착막의 전기적 성질의 불균일 등으로 인하여 자계가 0인 경우에도 불평형 전압이 발생한다. 이러한 불평형 전압을 소거하기 위하여 보상회로⁴⁾를 이용하였으며 Fig. 2는 보상회로가 삽입된 측정 장치 개략도이다.

자계변화에 대한 Hall전압의 측정에는 전자석을 이용하여 자계를 변화시켰으며 정전압과 정전류에 있어서 각각의 Hall전압을 측정하였다.

자기저항효과의 측정은 Hall소자의 양단입력전극에 일정전류를 흘리고, 자계의 인가시와 무자계시에 있어서 전극간의 전압변화를 측정하여 전압변화에 따른 저항 증가를 구하고, 그 저항증가분(ΔR)과 무자계시의 저항(R_0)와의 비를 자기저항증가율($\Delta R/R_0 \times 100$)로 하였다.

온도변화에 대한 Hall전압의 의존성은 소형영구자석을 사용하여 항온조내에서 측정하였다.

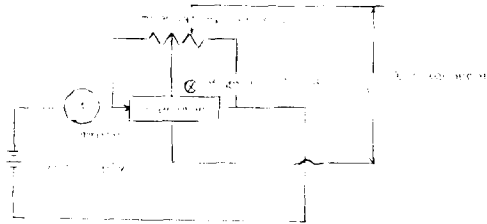


Fig. 2. Diagram of measuring system

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3(온도는 상온)는 Hall전압의 자계의존성을 나타낸 것으로 정전류 공급과 정전압 공급을 서로 비교하였으며 Hall전압의 성질은 공급원에 따라서 다른 특성을 나타내고 있다. 그 이유는 Hall 소자의 자기저항효과에 기인하는 것이라고 생각된다. 기본적으로 Hall소자는 전류감응소자이므로 정전압 공급의 경우에는 소자의 입력 저항이 증가하면 입력전류가 감소하므로 Hall전압특성은 다음의 설명한 정전류의 선형특성에서의 선형에서 벗어나게 된다.⁸⁾

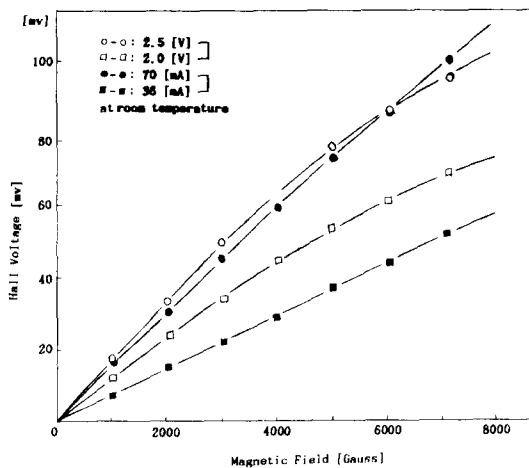


Fig. 3. Dependence of Hall voltage on magnetic field

Fig. 3에서 보는 바와 같이 정전류에서는 직선성을 나타내며, 즉 전류원에서는 자기저항의 변화가 직선적이라고 볼 수 있다. 정전압에서는 직선성에서 벗어나는 경향을 나타내고 그 정도는 8000(Gauss)의 자계에서 약 16% 정도가 된다.

Fig. 4(온도가 상온인 경우에 정전압의 공급시)는 자기저항효과를 나타낸 것이며 8000(Gauss)에서 약 15%의 저항증가를 나타내고 있는 정전류의 경우와 다르다.

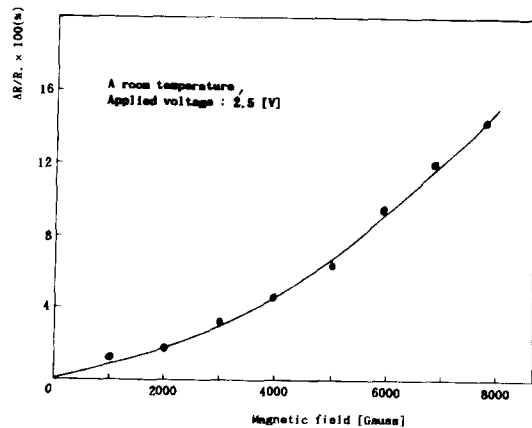


Fig. 4. Dependence of magneto-resistance($\Delta R/R \times 100$) on magnetic field

이것은 Fig. 3에서 정전압 공급시의 직선성 감소율 16%와 거의 일치되는 값이다.

이러한 저항증가의 원인은 소자내의 carrier의 운동과 밀접한 관계가 있다.

즉, carrier의 이동이 로렌쯔힘에 의하여 전계의 방향과 각 θ 를 이루며 이동하므로 carrier의 전극간 이동 경로가 길게 되어서 전극간의 저항이 증가한다고 생각된다.

Fig. 5는 Hall전압의 온도의존성을 나타낸 것이다. Hall전압은 정전압과 정전류 모두 온도 증가에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, Hall전압의 온도계수는 정전압 공급에서 $-0.43\%/deg$ 이고 정전류 구동에서 $-0.73\%/deg$ 로서 정전압 구동쪽이 양호한 특성을 나타냈다.

이러한 원인은, 온도상승에 따른 InSb의 박막의 carrier증가로 인한 Hall계수 $R_H (= r/ne)$ 의 감소율이 결정격자의 열진동, 불순물에 의한 산란동에 의한 이동도의 감소율보다 크

기 때문인 것으로 생각한다. 반도체인 경우 결정의 열진동으로 인한 carrier의 산란현상을 고려하면 Hall계수 R_H 는 $3\pi/8ne$ 이다. 여기서 n 은 carrier의 밀도, e 는 carrier의 단위전하량이다.

Hall효과의 측정에서 InSb Hall소자는 n형이었으며 Hall계수 $R_H=2\text{cm}^3/\text{C}$, Hall이동도 $\mu_H=20,000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, carrier밀도 $n=3.7 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ 의 값이 됨을 알 수 있었다.

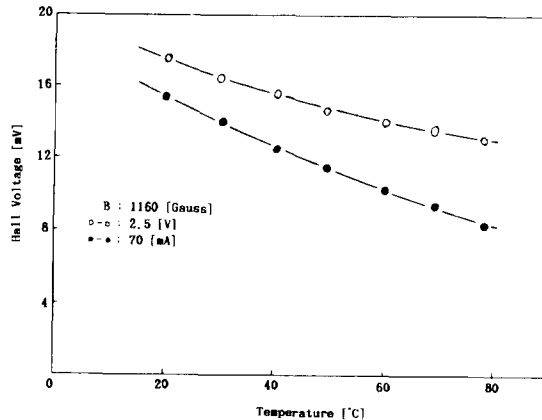


Fig. 5. Temperature dependance of Hall voltage

4. 결 론

InSb의 진공증착에 있어서 증발원 및 기판의 온도를 각각 변화시켜 증착하였다. 기판온도가 400~450°C에서 전기적 특성이 양호한 막을 얻었으며 그 막의 자기 sensor로서의 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 자계에 대한 Hall전압의 변화는 대체로 직선적인 비례관계가 성립하였다.

2) 주위 온도가 증가함에 따라 Hall전압은 감소한다. 따라서 이 InSb증착막을 magnetic sensor로 사용하는 경우, 온도에 대한 보정이 필요하게 된다.

3) 입력전류가 작으므로 저전력으로 가동 가능하고 또 소자의 형상을 임의로 작게 만들 수 있고 작은 공간내의 측정이 가능하다.

참 고 문 헌

1. 片岡照榮：日本電子通信學會誌, Vol.64 No.4 (1981), p.422.
2. 朴昌燁：標準電磁氣學, 三友出版社 (1981), pp.196~190.
3. 小林哲二：센서와 그 應用, 總合電子出版社 (1980), pp.29~46.
4. H. H Wieder : Laboratory Notes on Electrical and Galvanomagnetic Measurements, Elsevier (1979), pp.39~71.
5. 田中哲郎：電氣材料科工學, 誠文堂 (1973), pp.35~40.
6. C. Kittel : Introduction to Solid State Physics (5th Ed) John Wiley & Sons (1976), pp.174~176.
7. 飯田昭參, 片岡展望, 久保活一：日本電氣學會論文誌, Vol 194-C No.10 (1974). p. 219.
8. 增田昇：電子展望 No.9 (1979), pp.32~35.
9. 豊田和夫：ibid Vol 100-A No.12 (1980), p. 685.
10. 반8田昭參：ibid Vol 96-A No.5 (1976), p. 205.
11. 酒井善雄, 大下正秀：日本電氣學會雜誌 Vol 80 No.2 (1960), p.166.
12. J.A Carroll, J. F. Spivak : Solid State Electronics, Vol 9 (1966), p.383.
13. Masahide Ohshita : Japanese Journal of Applied Physics, Vol 10 No.10 (1971), 1365.
14. Kasturi L. Chopra : Thin Film Phenomena, McGraw-Hill (1969), pp.61~68.
15. H. Okimura, C. R Kannewurf, J. O. Brittain : Journal of Electronic Materials Vol 7. No.5 (1978), p.627.
16. V.L Rideout : Solid State Electronics Vol 18 (1975), p.541.
17. 大下正秀：以西雅章, 田中郁雄：日本電氣學會論文誌, Vol 102-A, No.2 (1982), p. 102.