

## InSb 박막의 홀효과 특성

## Hall Effect Characteristics of InSb Thin Film

이우선\*, 조준호\*, 최권우\*, 정용호\*\*, 김상용\*\*\*

Woo Sun Lee\*, Jun Ho Cho\*, Kun Woo Choi

\* 조선대학교 전기·제어계측공학부, \*\* 서강 정보대학 열냉동과\*\*\*

(주) 아남반도체

**Abstract** - InSb hall effect of multilayerd structures were investigated. According to variation of magnetic field measured hall coefficient, Hall mobility, carrier density and hall voltage. For the measurement of electrical properties of hall device, evaporated InSb thin film fabricated with series and parallel multilayers. We found that the XRD analysis of InSb thin film showed good properties at 200°C, 60 minutes. Resistance of ohmic contact increased linearly due to increasing current. Some of device fabrication technique and analysis of Hall effect were discussed.

## I. 서 론

마이크로 전자공학의 테크닉을 홀 소자에 적용하여 동작 이론과 부수 효과를 정밀하게 제어함으로써 더욱 새로운 발전을 하고 있으며 자장 트랜지스터나 MAGFET와 같은 능동소자에 홀 효과를 적용하여 제작함으로써 향상된 센서 성능을 기대하고 있다[1]-[3]. 반도체의 발전에 따라 홀 소자의 센서로의 응용은 더욱 활발히 이루어지고 있으며 자기 센서로서의 최근 동향은 두 가지 형태로 구분하여 다음과 같이 접근할 수 있다. 첫째는 전통적인 홀 소자에 기본을 두고 더 나은 센서를 만들려는 것이다. 현재까지 이러한 종류의 자장센서에 많은 관심과 연구를 하였지만 만족할 만한 성과가 별로 없는 게 현실이며 이에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다[4]-[6].

홀소자에 사용되는 물질은 단일 물질인 Si나 Ge과 같은 IV족의 원소를 사용하였으나 최근에는 InSb, InAs, GaAs와 같은 III-V족 화합물이 사용되고 있으며 소자의 안정성에 비중을 둔 실리콘 기반에 집적한 소자를 이용하는 경우도 있다[5]-[9].

소형화되어 가는 전자기기와 기계류의 흐름에 따라 센서의 크기나 성능의 향상을 요구하고 있으므로 더욱 넓은 적용온도와 고감도의 센서 제작이 필요하다고 하겠다. 특히 InSb는 이동도가 무려 78,000[cm<sup>2</sup>/V·S]에 이르는 고감도의 특성을 나타내고 있으나 온도특성이 InAs, GaAs에 비해 상대적으로 약하기 때문에 보상회로를 구성하여 제

작하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 다층 구조의 InSb 홀소자용 박막을 제작하여 홀효과 특성을 측정하여 홀센서에 이용하는데 기여 하고자 한다.

## 2. Hall 전압과 계수

그림 1은 Hall 효과 구조의 개략도 이다. 여기서 운반자는 전자(e)이며, 전류의 방향  $J_x$ , 자기장을 가짐을 알 수 있다. 이와같이 도체에 자기장이  $+z$  방향으로 작용하고 전기장이  $+x$  방향으로 작용하는 경우에 하나의 hole(e)은 전기장  $E_x$ 에 의하여 속도  $v_x$ 를 가지므로 전기장과 자기장에 의해서 전하가 받는 힘 즉 Lorentz force는 다음과 같이 주어지며

$$\vec{F} = e\vec{E} + ev \times \vec{B} \quad (1)$$

자기장내에서 움직이는 전하는 자기력을 받는다. 힘을 받은 전하는 힘의 물체의 바깥으로 쉽게 나갈 수가 없으므로 물체내에 있는 전하는 물체의 양벽에 쌓이게 된다.

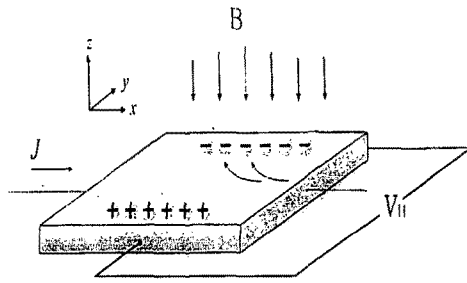


Fig. 1 Schematic diagram Hall devices in the form of a rectangular plate

이때 쌓이는 전하는 금속물질의 경우에는 전자뿐이나 반도체물질의 경우에는 타입에 따라서 전자와 정공을 갖는다.

전하의 분포가 균일했던 상태에서 벗어나 한 쪽에 쌓이게 되면 이들 전하에 의해서 전기장이 생겨나 더 이상의 전하가 쌓이는 것을 방해한다. 결국 충분한 시간 ( $10^{-6} \sim 10^{-11}$  sec)이 지나면, 전기력과 자기력은 같은 크기의 평형상태가 된다. 따라서 평형상태에서는  $F_y = 0$  이므로,

$$F_y = -e E_y + e v_x B_z = 0$$

$$E_y = v_x B_z \quad (2)$$

가 성립한다.

이와 같이 전류와 자장의 쌍방에 수직으로 전계가 유기되며 유기되어진 전계  $E_y$ 가 Hall 전계이다. 한편 시료중의 전류밀도  $J_x$ , 정공밀도  $n_h$ , 정공의 이동도  $\mu_h$ , 도전을  $\sigma$  라 하면

$$v_x = \mu_h E_x \quad (3)$$

$$J_x = n_h e v_x = n_h e \mu_h E_x = \sigma E_x \quad (4)$$

으로 나타내어지므로 식(2)와 식(4)으로부터  $v_x$ 를 소거하면 Hall 계수  $R_H$ 에 관한 다음 식이 얻어진다.

$$E_y = \frac{J_x B_z}{n_h e} = R_H J_x B_z$$

$$R_H = \frac{1}{e n_h} [m^2 c^{-1}] \quad (5)$$

### 3. 실험 방법

드롭핑 증착법은 InSb의 단결정의 조각을 열원에 여러 차례에 걸쳐 나누어 떨어뜨린다. 이때 인듐과 안티모니층(In+InSb+ Sb)이 여러겹 증착되며 열처리 과정을 거쳐 화학조성이 균일한 막을 얻을 수 있다.

성분이 균일한 화합물의 박막을 제작하는 데는 위에서 설명한 몇 가지 방법이 제안되고 있다.  $20 \mu m$  이하의 두께에

서는 균일한 화학조성의 막을 제작하는 것은 필수요소라 할 수 있겠다. 그러나 InSb에서 Sb와 같은 고 휘발성의 성분을 포함하는 화합물의 경우에는 진공 챔버내의 압력을 극도로 증가시키기 때문에 이를 제어하는 것은 매우 중요하다. 드롭핑 증착법은 1967년 Biermann에 의해서 InSb나 InAs의 galvanomagnetic device의 박막을 제작하기 위해 처음 사용되었다. 발열체에 한 덩어리의 InSb 결정을 넣고 그것을 증착 할 때, 다양한 구성을 갖는 증착막을 얻을 수 있다. 경계영역에서만 화학적 조성이 균일한 InSb를 갖으며, 증착 후 열처리과정을 거쳐야만 비로소 화학적 조성이 균일한 박막을 얻을 수 있다. 보호막을 증착하고 띠 모양의 다층막을 재 결정화하는 열처리과정을 거쳐야 비로소 조성이 균일한 막을 얻을 수 있다.

본 실험에 사용된 Substrate는 유리를 사용하였다. 홀 소자의 성형에 앞서 유리기판의 세척 및 진공공정을 실시하였는데, 기판에 존재하는 미세한 불순물일지라도 측정 오차의 요인이 되므로 기판에 지문이나 유기물질 잔여 등이 묻지 않도록 하였다. 시료가 달는 도구나 용기도 미리 세척을 실시하여 주변으로부터 오염을 최소화하였다.

홀소자의 자기저항 특성의 측정에는 6 Bridge-Bar(6BB) 형태와 van der Pauw(VDP) 형태가 흔히 사용된다. 시료의 크기는 작을수록 좋으나 프로브나 와이어 본딩(bonding)을 고려해야한다. VDP 법은 그림 3에서처럼 다양한 형태로 구분되어 일반적으로 널리 활용되고 있으며 시료의 제작공정이 간단하고 홀 파라미터를 쉽게 얻을 수 있다.

성형공정은 마스크(mask)를 이용한 진공증착을 이용하였으며 마스크는 유리기판과 같은 크기의 동판에 제작하였고 이를 유리기판 위에 배치하여 드롭핑 증착을 실시하였다. 진공은  $10^{-2}$ 까지 로타리 펌프로 배기한 후, 오일 확산펌프(oil diffusion pump)를 함께 가동하여  $10^{-6}$ 까지 배기 하여 증착을 실시하였다. 기판온도는  $100^\circ C$ 를 유지하면서 증착하였으며, 일정한 간격과 시간으로 열원에 시료를 떨어뜨려 균일한 다층막이 형성될 수 있도록 하였다.

다음으로 InSb 박막을 증착한 시료 위에 그림 2와 같은 구조로 절연층(SrTiO<sub>3</sub>)을 형성시키기 위하여 퍼터링 증착을 실시하였는데 원형 마스크를 제작하여 전극 부분을 제외한 InSb 층위에 2000Å의 두께로 증착 하였다. 이 과정이 끝난 후에는 막의 균일한 조성을 위하여 열처리를  $200^\circ C$ 의 온도로 5분간 실시하였으며 2 layers, 3 layers 또한 같은 방법으로 반복하여 시료의 제작을 완료하였다.

Ohmic contact은 홀소자의 특성을 정확하게 측정하는데 중요한 역할을 하기 때문에 이 공정 또한 높은 정밀도를 필요로 한다. 본 실험에서는 정확한 온도와 시간을 제어할 수 있는 어닐링 퍼니스(annealing furnace)를 이용하였다. 본 실험에서는 제작된 InSb 박막 위에 인듐의 저층이  $0.5mm$ 의 크기로 증착하여  $100^\circ C$ ,  $200^\circ C$ ,  $300^\circ C$ 로 3분간 각각 열처리하였다. 인듐은 용점이  $153^\circ C$ 이므로 온도가 높아짐에 따라 공기중의 산소나 그 밖의 불순물과의 결합할 확

률이 높아진다. 따라서, 불활성 가스인 질소의 분위기를 만들어 열처리를 실시하였다. 또한 반응 챔버내의 유기물질의 영향을 최소화하기 위하여 500°C까지 예열 과정을 거친 뒤 시료를 챔버내로 삽입하였다.

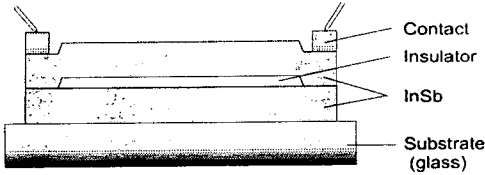


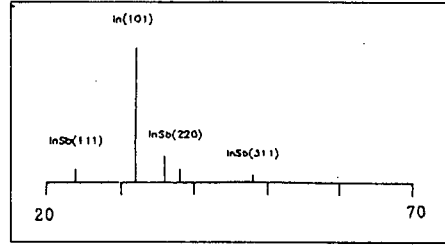
Fig.2 InSb Hall devices on the glass

#### 4. 결과 및 고찰

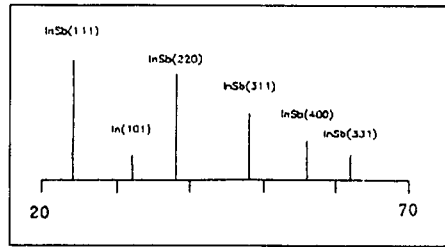
다층으로 구성된 박막의 원자배열 즉, 결정구조를 관찰하기 위하여 자외선과 감마선 사이의 파장을 갖는 전자파로 이루어진 X-ray 회절분석기의 장치를 이용하였다. 시료의 측정온 증착된 박막을 X-ray 회절분석기에 장치하고 파장이 1.5405Å인 Cu-K $\alpha$  선을 사용하여 측정각(2 $\theta$ )은 20° ~ 70° 영역에서 X선 회절 피크를 기록하였다.

드롭핑 증착법으로 제작된 홀소자의 결정구조를 규명하기 위하여 InSb 박막의 X-ray 회절선을 측정한 결과는 그림 3과 같다. 열처리 온도는 100°C(a), 200°C(b), 300°C(c)에서 실시하였으며 열처리 온도에 따라 결정의 상태가 많은 변화를 일으켰음을 확인할 수 있었다. 200°C에서 열처리한 시료는 (111)의 방위를 같은 InSb(111)가 매우 많이 생성되어 박막 전체에서 가장 많이 성장되었음을 알 수 있다. 그림 3에 나타난 피크의 상대적 크기 및 각도는 단결정 상태의 시료와 아주 흡사하며 이것은 InSb 화합물의 많은 양이 생성되었음을 확인할 수 있다. 300°C에서 열처리한 시료(c)는 200°C(b)보다 InSb 결정이 적게 나타나고 In이 우세하게 나타나고 있다. 이는 인듐의 융점인 153°C보다 낮게 열처리한 시료는 각 물질간의 용융과 확산이 전혀 일어나지 않았고, (c)의 경우와 같이 인듐의 융점보다 지나치게 높은 온도로 열처리한 시료는 10<sup>4</sup>배의 높은 증기압 차에 의해 그 결정이 와해되는 것으로 생각된다. 따라서 드롭핑 증착을 통한 다층막의 열처리 온도는 200°C정도가 가장 적합하다고 추정할 수 있다.

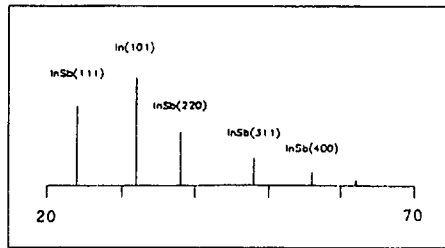
반도체를 사용하는 소자에서는 외부와 신호를 주고받기 위해서 접촉이 형성되어야 하는데 이들 접촉은 옴접촉(Ohmic contact)을 통하여 이루어진다. 옴접촉은 금속-반도체 접촉이지만 정류접촉(Schottky contact)이 아닌 저항성 접촉으로서 금속과 반도체 사이에서 양방향으로 전도가 이루어진다. 이상적인 옴접촉을 통하여 흐르는 전류는 인가한 전압의 선형함수이며, 홀효과를 측정시 오차를 줄이는데 필요한 사항이다.



(a)



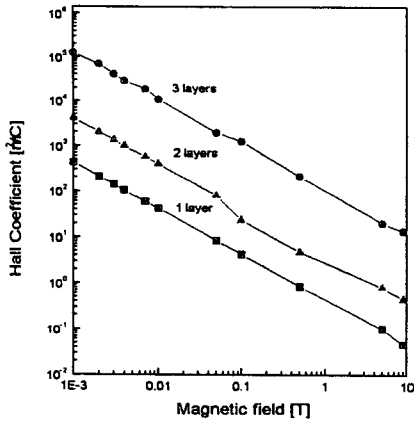
(b)



(c)

Fig. 3 X-ray pattern of InSb thin films annealing at (a) 100°C, (b) 200°C, (c) 300°C

다층구조에서 홀효과의 자체 의존성을 알아보기 위하여 서로 다른 층수(1층, 2층, 3층)의 다층구조를 갖는 3개의 InSb 시료의 홀효과를 자장(Teslar)과 온도를 가변 하면서 그 특성을 측정하였다. 드롭핑 증착을 통한 다층 구조의 자기적인 특성을 측정하였으며 자장의 변화에 의한 홀계수(그림4)와 이동도(그림5)를 측정할 결과 3 layer를 갖는 다층 구조에서 가장 우수한 자기적인 센서 특성을 나타내었다.



Fi

Fig. 4 Characteristics of Hall coefficient and magnetic field on different layers

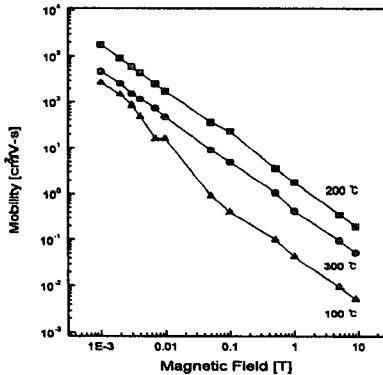


Fig.5 Characteristics of mobility and magnetic field on various annealing temperature

### 5. 결 론

본 논문에서는 다층구조로 제작한 InSb 박막을 100°C, 200°C, 300°C의 온도로 열처리하여 그 특성을 알아보기 위해 X-ray 회절선, 표면사진 그리고 자장의 변화에 따른 이동도를 통하여 확인하였다. 홀소자의 정확한 측정을 위하여 인듐을 전극으로 증착하였는데 200°C에서 3분간 열처리한 시료는 전류의 증가에 따라 선형적인 증가를 보이고 있는 옴직접촉을 보이며 3.3[kΩ] 정도의 저항을 보였다. 표면에 침상구조를 보이지 않는 결정의 배열이 균일하고 (111)의 방위를 갖는 InSb가 가장 많이 생성된 것을

확인할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- 1) S. Shigetomi, T. Ikari, H. Nakashima, "Impurity levels in layer semiconductor p-GaSe doped with Mn", J. Appl. Phys. 76(1), pp. 310-314, 1994
- 2) 이우선, 손경춘, 김남오, "Erbium 도핑된 p-GaSe 단결정의 홀 효과 특성", 전기전자재료 논문지, 13권 1호, 2000년 1월
- 3) K. Y. Liu, K. Ueno, Y. Fujikawa, K. Saiki and A. Koma, "Heteroepitaxial Growth of layered semiconductor GaSe on a Hydrogen-terminated Si(111) surface", jpn. j. Appl. Phys. letter, Vol. 32, pp. 434-437, 1993
- 4) S. Shigetomi, T. Ikari, H. Nakashima, "Optical and electrical properties of layer semiconductor p-GaSe doped with Zn", J. Appl. Phys. 74(6), pp. 4125-4129, 1993
- 5) S. Shigetomi, T. Ikari, H. Nakashima, "Electrical characteristics of layer semiconductor p-GaSe doped with Cd", J. Appl. Phys. 73(9), pp. 4686-4688, 1993