

홀센서 InSb 박막 이동도의 온도의존성

Temperature Dependent Mobility Characteristics of InSb Thin Film

이우선*, 조준호*, 최권우*, 김남오**, 김형근, 김상용***, 서용진

(Woo Sun Lee*, Jun Ho Cho*, Kun Woo Choi, Nam Oh Kim, Sang Yong Kim, Yong Jin Seo)

Abstract

InSb temperature dependent 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.

Key Words : Hall effect, mobility, thin film, InSb, temperature dependence

1. 서 론

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[1]. 마이크로 전자공학의 테크닉을 홀 소자에 적용하여 동작 이론과 부수 효과를 정밀 하게 제어함으로써 더욱 새로운 발전을 하고 있으며 자장 트랜지스터나 MAGFET와 같

은 능동소자에 홀 효과를 적용하여 제작함으로써 향상된 센서 성능을 기대하고 있다 [2]-[4]. 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 기판에 집적한 소자를 이용하는 경우도 있다.

특히 InSb는 이동도가 무려 78,000[cm²/V·S]에 이르는 고감도의 특성을 나타내고 있으나 온도특성이 InAs, GaAs에 비해 상대적으로 약하기 때문에 보상회로를 구성하여 제작하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 InSb 홀소자용 박막을 제작하여 홀소자 이동도의 온도의존 특성을 측정하여 홀센서에 이용하는데 기여 하고자 한다.

2. 홀소자

그림 1은 Hall 효과를 설명한 개략도 이다. 여기서 운반자는 전자(e)이며, 전류의 방향 J_x 자기장의

* 조선대학교 전기공학과

(광주시 서석동 375, Fax 062-232-9218)

E-mail: wslee@chosun.ac.kr,

조선이공대 전기과, * 아남반도체,대불대

방향 H_z 는 각각 양의 값을 갖는다. 또한 전하의 속도 v_x , 전기장의 방향 E_x, E_y 도 각각 양의 값을 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 자기장내에서 움직이는 전하는 자기력을 받는다. 힘을 받은 전하는 힘의 물체의 바깥으로 쉽게 나갈 수가 없으므로 물체내에 있는 전하는 물체의 양쪽에 쌓이게 된다 이때 쌓이는 전

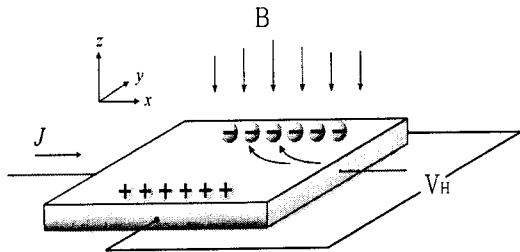


Fig. 1 Schematic diagram Hall devices in the form of a rectangular plate

하는 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 시간이 지나면, 전기력과 자기력은 같은 크기의 평형상태가 된다. 따라서 평형상태에서는,

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

$$e E_y = e v_x B_z$$

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

가 성립한다.

이와 같이 전류와 자장의 쌍방에 수직으로 전계가 유기되는 현상을 Hall effect라고 한다. 유기되어진 전계 E_y 를 Hall 전계라 말한다. 한편 시료중의 전류밀도 J_x 정공밀도 n_h , 정공의 이동도 μ_h , 도전을 σ 라 하면

$$v_x = \mu_h E_x$$

$$J_x = n_h e v_x = n_h e \mu_h E_x = \sigma E_x$$

v_x 를 소거하면 Hall 계수 R_H 에 관한 다음 식이 얻어진다.

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

$$R_H = \frac{1}{e n_h} [m^3 c^{-1}]$$

3. 실험 방법

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^{-5} 까지 배기 하여 증착을 실시하였다. 기판온도는 $100^\circ C$ 를 유지하면서 증착 하였으며, 일정한 간격과 시간으로 열원에 시료를 떨어뜨려 균일한 다층막이 형성될 수 있도록 하였다. 본 실험에 사용된 Substrate는 유리를 사용하였다. 홀 소자의 성형에 앞서 유리기판의 세척 및 건조공정을 실시하였는데, 기판에 존재하는 미세한 불순물일지라도 측정 오차의 요인이 되므로 기판에 지문이나 유기물질 먼지 등이 묻지 않도록 하였다. 시료가 닫는 도구나 용기도 미리 세척을 실시하여 주변으로부터 오염을 최소화하였다.

다음으로 InSb 박막을 증착한 시료 위에 그림 2와 같은 구조로 절연층(SrTiO₃)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.

본 실험에서는 정확한 온도와 시간을 제어할 수 있는 어닐링 퍼니스(annealing furnace)를 이용하였다. 본 실험에서는 제작된 InSb 박막 위에 인듐의 지름이 0.5mm의 크기로 증착하여 $100^\circ C, 200^\circ C, 300^\circ C$ 로 3분간 각 각 열처리하였다.

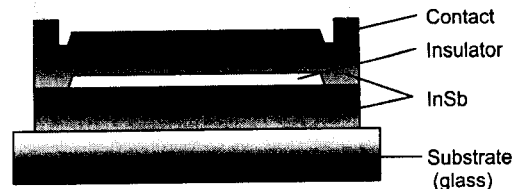


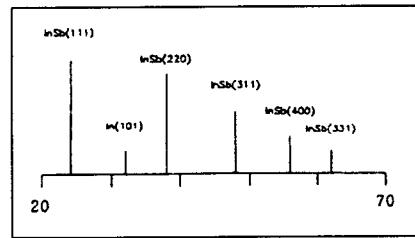
Fig.2 InSb Hall devices on the glass

4. 결과 및 고찰

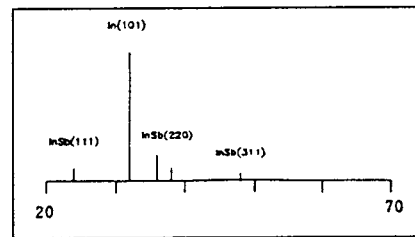
드롭핑 증착법으로 제작된 홀소자의 결정구조를 규명하기 위하여 InSb 박막의 X-ray 회절선을 측정 한 결과는 그림 3과 같다. 열처리 온도는 100℃ (a), 200℃(b), 300℃(c)에서 실시하였으며 열처리 온도에 따라 결정의 상태가 많은 변화를 일으켰음을 확인할 수 있었다. 200℃에서 열처리한 시료는 (111)의 방위를 같은 InSb(111)가 매우 많이 생성되어 박막 전체에서 가장 많이 성장되었음을 알 수 있다. 다층으로 구성된 박막의 원자배열 즉, 결정구조를 관찰하기 위하여 자외선과 감마선 사이의 파장을 갖는 전자파로 이루어진 X-ray 회절분석기의 장치를 이용하였다. 시료의 측정은 증착된 박막을 X-ray 회절분석기에 장치하고 파장이 1.5405Å 인 Cu-Kα선을 사용하여 측정각(2θ)은 20° ~ 70° 영역에서 X선 회절 피크를 기록하였다. 그림 3에 나타난 피크의 상대적 크기 및 각도는 단결정 상태의 시료와 아주 흡사하며 이것은 InSb 화합물의 많은 양이 생성되었음을 확인할 수 있다. 300℃에서 열처리한 시료(c)는 200℃(b)보다 InSb 결정이 적게 나타나고 In이 우세하게 나타나고 있다. 이는 인듐의 용점인 153℃보다 낮게 열처리한 시료는 각 물질간의 용융과 확산이 전혀 일어나지 않았고, (c)의 경우와 같이 인듐의 용점보다 지나치게 높은 온도로 열처리한 시료는 10⁴배의 높은 증기압 차에 의해 그 결정이 와해되는 것으로 생각된다. 따라서 드롭핑 증착을 통한 다층막의 열처리 온도는 200℃ 정도가 가장 적합하다고 추정할 수 있다.

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

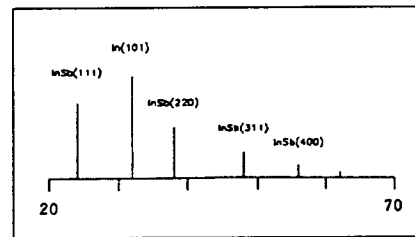
그림 4는 자장의 변화에 따른 캐리어 밀도와 이동도의 변화를 나타낸 것으로 100℃에서 열처리한 시료는 0.001[T]에서 2×10³[cm²/V·S]의 이동도를 나타내고 있으며 9[T]까지 변화과정에서 이동도는 불규칙한 변화를 나타내고 있음을 보이고 있다. 200℃와 300℃에서 열처리한 시료는 각각 0.001[T]에서 5×10³[cm²/v·s], 1×10⁴



(a)



(b)



(c)

Fig.3 X-ray pattern of InSb thin film annealing at (a) 100℃, (b) 200℃

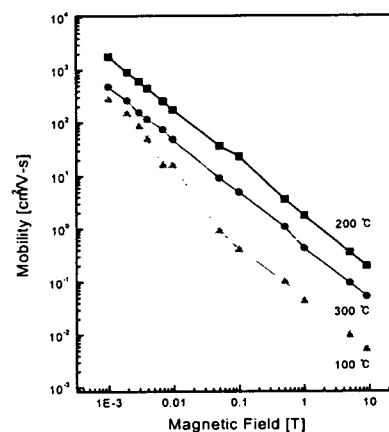


Fig. 4 Characteristics of carrier density

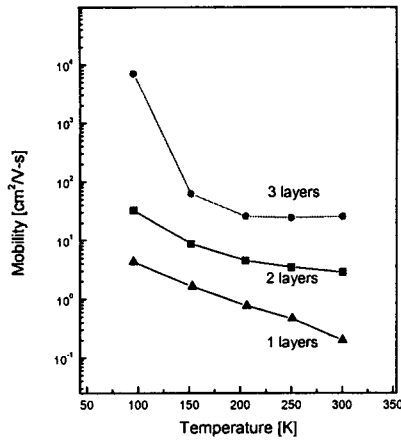


Fig. 5 Characteristics of Hall Mobility and temperature for different layers

[$\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$]의 값을 나타내고 있다. 이는 100℃와 300℃에서 열처리한 시료에 비하여 더 높은 이동도와 캐리어 밀도는 안정된 특성을 보이고 있다.

그림5은 온도의 변화에 의한 이동도 특성을 층수에 따라 나타내었다.

온도의 증가에 따라 전체적인 증가를 보이고 있으며 반도체의 일반적인 특성에 일치함을 보이고 있다. 온도의 증가에 따라 홀 이동도가 급격히 감소함을 보이고 있는데 이는 온도의 증가에 따른 입자들의 산란과 충돌의 원인, 즉 포논(phonon) 혹은 격자산란(lattice scattering)과 이온화 불순물 산란(ionized impurity scattering)이라고 할 수 있다. 또한 3 layers는 250[K]의 온도에서 $2 \times 10^2 [\text{cm}^2/\text{VS}]$ 의 값으로 포화됨을 알 수 있다. 또한 전체적으로 1 layer나 2 layers에 비하여 상대적으로 높게 나타나고 있다.

그림7은 전계의 증가에 따른 이동도의 변화를 나타내는데 전계가 증가함에 따라 이동도는 지수함수적인 감소를 보였다.

5. 결 론

본 논문에서는 다층구조로 제작한 InSb 박막을 100℃, 200℃, 300℃의 온도로 열처리하여 그 특성을 알아보기 위해 X-ray 회절선 및 자장의 변화에 따른 이동도와 홀전압을 통하여 확인하였다. 홀소자의 정확한 측정을 위하여 인듐을 전극으로 증착하였는데 200℃에서 3분간 열처리한 시료는 전류의 증가에 따라 선형적인 증가를 보이고 있는 오믹접

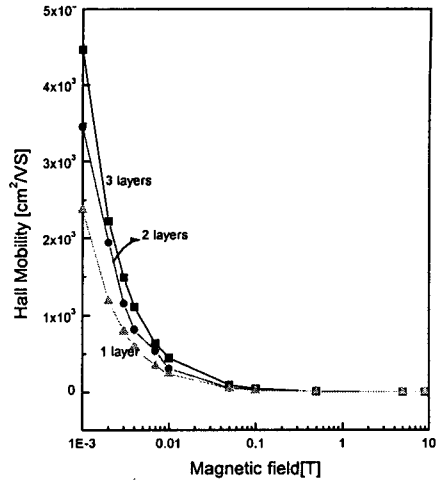


Fig.6 Characteristics of Hall mobility and magnetic field on different layers

촉을 보이며 3.3[kΩ] 정도의 저항을 보였다. 자장의 변화에 따른 캐리어 밀도와 이동도의 변화는 온도가 증가함에 따라서 불규칙한 변화를 보였으며는 100℃와 300℃에서 열처리한 시료에 비하여 200℃의 경우가 더 높은 이동도와 캐리어 밀도는 안정된 특성을 보였다. 전계의 증가에 따른 이동도의 변화는 전계가 증가함에 따라 이동도는 지수함수적인 감소를 보였다.

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