Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol. 13, No. 8, pp. 681~687, 2000.

논 문 13-8-6

다층구조 InSb 홀소자의 제작과 특성

Magnetic Characteristics of an InSb Hall Device of Multilayerd Structure

이우선* . 김상용** . 서용진*** . 박진성**** . 김창일*****
Woo-Sun Lee* . Sang-Yong Kim** . Yong-Jin Seo*** . Jin-Seong Park**** . Chang-Il Kim*****

Abstract

Magnetic Characteristics of an InSb hall device of multilayerd structures were investigated. For the measurement of electrical properties of the hall device InSb thin films fabricated with series and parallel multilayers were evaporated. Hall coefficient, hall mobility, carrier density and hall voltage were measured as a function of the intensity of magnetic field. We found that the XRD analysis of InSb thin film showed good properties at 200℃, 60 minutes. Resistance of ohmic contact was increased linearly due to increasing current. Hall voltages at 0.01T showed 5×10^{-4}[V] and 1.5×10^{-3}[V]. Some of device fabrication technique and analysis of magnetic characteristics were discussed.

Key Word: Hall Effect(홀 효과), Magnetic Characteristics(자기적 특성), InSb, Dropping Method(드롭핑 법)

Ⅰ. 서 론

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. 마이크로 전자공학의 테크닉을 홀 소자에 적용하여 동작 이론과 부수 효과를 정밀하게 제어함으로써 더욱 새로운 발전을 하고 있다. 두 번째는 자장트랜지스(magnetotransistor)나MAGFET와 같은 능동소자에 홀 효과를 적용하여 제작함으로써 향상된 성능을 기대하는 것이다[1]-[3].현재까지 이러한 종류의 자장센서에 많은 관심과 연구를 하였지만 만족할 만한 성과가 별로 없는 게 현실이며 이에 대한연구가 꾸준히 이루어지고 있다.[4]-[6],[10]-[11] 홀 소자는 자기장의 신호를 전기적인 신호로 변환시키는 기능을 가진 자전소자로서, 기존에 사용한 코일에 비하여 소형, 저소비전력, 저가격, 고감도, 고 신뢰성 등의 여러 가지 이점이 있다. 특히, 반도체 소자의 재료와 그 가공기술이 비약적으로 진보하고있어, 그 용도와 응용이 광범위하게 넓어지고 있다. 또한, 홀 소자는 비접촉 센서로서 모터에서 회전하는 자계의 위치를 검출하거나, 자장에서의 자계의 세기를 측정할 수 있는 소자로써, 최근 VTR, 오디오 제품, 정밀 통신 기기 등의 핵심 부품인 소형 정밀 모터나 직류 브러시리스(DC brushless)모터의 속도 감시 및 제어용으로 사용되며 가우스 미터(gauss meter) 등 자계 측정 장비에도 쓰인다[1],[2],[6] 홀 소자에 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[1],[7]-[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[㎠/V・S]에 이르는 고감도의 특성을 나타내고 있으나 온도특성이

* :조선대학교 전기제어계측공학부 교수
(광주광역시 동구 서석동 375, Fax:062-230-7020
E-mail:wslee@mail.chosun.ac.kr)
** :아남반도체
*** :대불대학교 전기전자공학부 교수
**** :조선대학교 금속재료공학부 교수
***** :중앙대학교 전자전기공학부 교수
2000년 1월 21일 접수, 2000년 8월 8일 심사완료

InAs, GaAs에 비해 상대적으로 약하기 때문에 보상회로를 구성하여 제작하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 다층 구조의 InSb 홀소자용 박막을 제작하여, 그 물성을 측정하며, 홀 이동도, 홀 농도, 홀 전압과 홀 계수의 자기적인 특성을 측정하여 스위칭 소자와 자장을 감지하는 저가의 고감도 홀 센서에 이용하는데 기여 하고자 한다.

2. 실험방법

인듐과 안티모니가 같은 온도에서 10^4배 이상의 증기압차이가 있어 같은 증착 조건 내에서 열 증착을 할 경우 두 물질의 화학 양론적 조성비(stoichiometric composition)가 맞는 InSb 화합물을 얻기가 힘들다. 따라서 여러 가지 방법이 시도되었는데 삼온도법(three-temperature method), 플래쉬 증착법(flash evaporation), 드롭핑 증착법(dropping evaporation)등이 대표적인 예이다. 삼온도법은 2개의 증발 원과 기판의 3개소에서 온도를 독립적으로 제어함으로써 화학양론적인 조성의 박막을 얻을 수 있는 방법이다. 그러나 삼온도법은 실험조건의 미세한 변화에도 상이한 결과가 나타나기 때문에 실제로 정확한 증착 조건의 확립이 어렵고 재현성이 좋지 않는 단점이 있다. 플래쉬 증착법은 다원합금이나 화합물 또는 단결정의 분말을 열원에 소량씩 떨어뜨려 순식간에 증발시켜 증착 시키는 방법으로 InSb의 단 분자 단위로 층층이 증착된 박막을 열처리함으로써 InSb 박막을 얻는 방법이다. 분말의 입도가 작다면 어떠한 성분도 거의 동시에 증발시킬 수 있기 때문에 조성이 균일한 막을 얻을 수 있으며, 원하는 불순물의 첨가가 가능하다. 하지만 증발속도의 제어가 어려운 단점이 있다. 드롭핑 증착법은 InSb의 단결정의 조각을 열원에 여러 차례에 걸쳐 나누어 떨어뜨린다. 이때 인듐과 안티모니층(In+InSb+Sb)이 여러겹 증착되며 열처리 과정을 거쳐 화학양론적 조성비가 균일한 막을 얻을 수 있다.

성분이 균일한 화합물의 박막을 제작하는데는 위에서 설명한 몇 가지 방법이 제안되고 있다. 20μm이하의 두께에서는 균일한 화학양론적 조성비의 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.[5] 이 방법을 그림 1에 나타내었다. 발열체에 한 덩어리의 InSb 결정을 넣고 그것을 증착 할 때, 다양한 구성을 갖는 증착막을 얻을 수 있다. 다시 말하면, 그림 1(a)에서 (1)과 같은 막은 안티모니의 양이 과다하고 그 조성은 InSb+Sb이며 반면 (2)와 같은 필름의 부분은 안티모니의 양이 결핍되고 그 조성은 InSb+In이다. 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.

그림 1(b)는 Biermann이 실시했던 방법으로 다층막을 반복적으로 구성할 수 있는 드롭핑 증착법을 적용하기 위하여 더 작은 덩어리를 사용하였다. 양질의 여러 다층막을 증착하기 위해서는 같은 크기의 덩어리를 일정한 간격으로 열원에 떨어뜨려야 하며, (3)은 컨테이너(container) (4)는 배출판(drop-out plate)으로써, 서너 개의 층을 번갈아 가며 축합된 조성을 형성하는 수단으로 사용된다. 이 방법 또한 그림 1(a)와 같이 표면 옥사이드(Oxide) 층을 증착하고 열처리를 함으로써 비로소 화학적 조성이 균일한 막을 얻을 수 있다.[5] 본 실험에 사용된 Substrate는 유리를 사용하였다. 홀소자의 성형에 앞서 유리기판의 세척 및 건조공정을 실시하였는데, 기판에 존재하는 미세한 불순물일지라도 측정에 오차의 요인이 되므로 기판에 지문이나 유기물질, 먼지 등이 묻지 않도록 하였다.

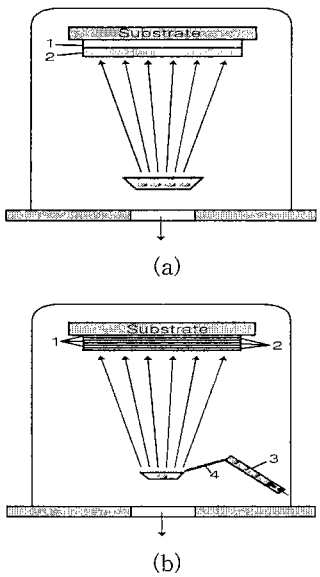
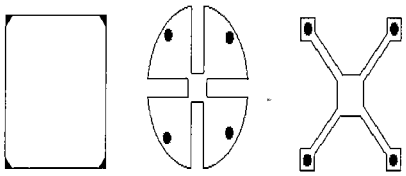


그림 1 드롭핑 증착법의 개념도 (a) 한 덩어리 (b) 작은 덩어리

Fig. 1 Schematic diagram of dropping evaporation method (a) a single charge (b) a small charge

시료가 닿는 도구나 용기도 미리 세척을 실시하여 주변으로부터 오염을 최소화하였으며 그 과정 및 순서를 표 1 에 나타내었다.



(a) (b) (c)

그림 2 일반적인 VDP 형태와 접점 위치 (a) 정방형 (b) 클로버잎 형 (c) 그릭-크로스형

Fig. 2 Typical van der Pauw patterns and contact position (a) square (b) clover-leaf (c) Greek cross

Table 1. Cleaning process in substrate

1	초순수에서 씻기, 2회
2	아세톤에서 초음파 세척 15 ~ 20분, 50℃
3	에탄올에서 초음파 세척 15~20분
4	초순수에서 씻기, 7회
5	초순수에서 초음파 세척
6	건조, 85℃

홀소자의 자기저항 특성의 측정에는 6 Bridge-Bar (6BB) 형태와 그림 2에 보인 van der Pauw(VDP)형태가 흔히 사용된다. 시료의 크기는 작을수록 좋으나 프로브나 전극 형성을 고려해야한다. VDP 법은 그림 2에서처럼 다양한 형태로 구분되어 일반적으로 널리 활용되고 있으며 시료의 제작공정이 간단하고 홀 파라미터를 쉽게 얻을 수 있다. 시료의 형태에 따라서 Square(a), Clover leaf(b), Greek cross(c)로 구분되며 본 실험에서는 VDP법을 사용하기 위하여 그림 2(c)의 Greek cross 형태로 InSb 샘플이 제작되었으며 제작공정은 크게 성형과정과 오믹 접촉 과정으로 나누어 실시하였다.

성형공정은 마스크(mask)를 이용한 진공증착을 이용하였으며 그림 3과 같이 구성되어있는 장치를 사용하였다. 마스크는 유리기판과 같은 크기의 동판에 그림 4(c)와 같은 형태로 제작하였고 이를 유리기판 위에 배치하여 드롭핑 증착을 실시하였다. 진공은 10^{-2} Torr까지 로타리 펌프로 배가한 후, 오일 확산펌프(oil diffusion pump)를 함께 가동하여 10^{-5} Torr까지 배기하여 증착을 실시하였다. 기판온도는 100℃를 유지하였으며, 5분 간격으로 CERAC에서 제조한 순도 99.999%의 InSb를 열원에 84g을 4회로 나누어 떨어뜨려 균일한 다층막이 형성될 수 있도록 하였다. 다음으로 InSb 박막을 증착한 시료 위에 그림 4와 같은 구조로 절연층(STO)을 형성시키기 위하여 스퍼터링 증착을 3분간 실시하였는데 원형 마스크를 제작하여 전극부분을 제외한 2000Å정도의 InSb 층위에 2000Å의 두께로 증착 하였다. 이 과정이 끝난 후에는 막의 균일한 조성을 위하여 열처리를 200℃의 온도로 5분간 실시하였으며 2-layers, 3-layers 또한 같은 방법으로 반복하여 시료의 제작을 완료하였다.

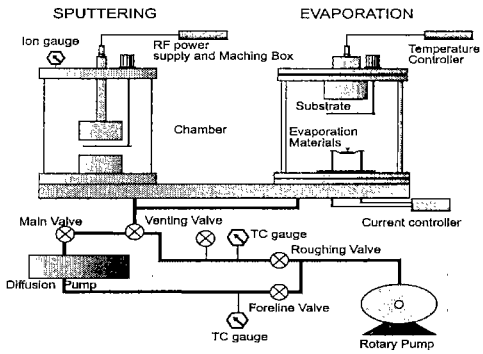


그림 3 진공증착과 스퍼터링 실험장치

Fig. 3 Schematic equipment of vacuum evaporation and sputtering.

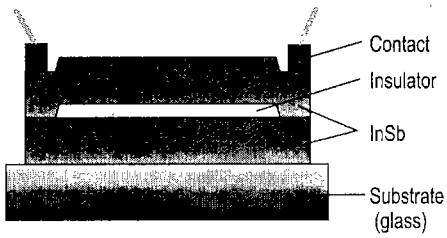


그림 4 InSb 홀 소자의 제작 구조

Fig.4 InSb Hall devices on the glass.

오믹 접촉은 홀소자의 특성을 정확하게 측정하는데 중요한 역할을 하기 때문에 이 공정 또한 높은 정밀도를 필요로 한다. 본 실험에서는 정확한 온도와 시간을 제어할 수 있는 열처리 전기로(annealing furnace)를 이용하였다. 본 실험에서는 제작된 InSb 박막 위에 인듐의 지름이 0.5mm의 크기로 증착하여 100℃, 200℃, 300℃로 3분간 각 각 열처리하였다. 인듐은 융점이 153℃이므로 온도가 높아짐에 따라 공기중의 산소나 그 밖의 불순물과의 결합할 확률이 높아진다. 따라서,

불활성 가스인 질소의 분위기를 만들어 열처리를 실시하였다. 또한 반응 챔버내의 유기물질의 영향을 최소화하기 위하여 500℃까지 예열 과정을 거친 뒤 시료를 챔버내로 삽입하였다. 본 연구에 사용된 홀 효과 측정장치(Bio-Rad, HL5500PC)를 이용하여 0.001~10T의 범위에서 자계를 가변하면서 이동도, 농도 및 홀 전압을 측정하였으며 촬탁이 간편한 프레이트를 사용하였고, 접점의 위치를 쉽게 변경 할 수 있는 이동식 프로브를 이용하였다. 또한 연속 자기를 사용하여 접점의 쌍을 변경하면서 N극과 S극의 위치 변화 후에 재 측정하였다. 이는 샘플의 제작과정에서 생길 수 있는 불균형을 최소화하기 위함이다.

3. 결과 및 고찰

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 1.5405Å인 Cu-Kα선을 사용하여 측정각(2θ)은 20° ~ 70° 영역에서 X선 회절 피크를 기록하였다. 드롭핑 증착법으로 제작된 홀소자의 결정구조를 규명하기 위하여 InSb 박막의 X-ray 회절선을 측정한 결과는 그림 5와 같다. 열처리 온도는 (a) 100℃, (b) 200℃, 그리고 (c) 300℃에서 실시하였으며 열처리 온도에 따라 결정의 상태가 많은 변화를 일으켰음을 확인할 수 있었다. 200℃에서 열처리한 시료는 (111)의 방위를 갖는 InSb(111)가 매우 많이 생성되어 박막 전체에서 가장 많이 성장되었음을 알 수 있다. 그림 5에 나타난 피크의 크기 및 각도는 InSb의 단결정 상태와 아주 유사하며 이를 통하여 인듐과 안티모니가 InSb 단결정에 가까움을 의미한다고 할 수 있다. 300℃에서 열처리한 시료(c)는 (b)보다 InSb 결정이 적게 나타나고 인듐이 다소 검출됨을 그림으로 확인할 수 있으며 100℃에서 열처리한 시료 (a)는 InSb의 양 보다 인듐의 양이 많음을 알 수 있다. 이는 인듐의 융점이 153℃임을 고려할 때 이 보다 낮은 온도로 열처리한 시료는 각 물질간의 용융이나 확산이 거의 일어나지 않았고, (c)의 경우와 같이 인듐의 융점보다 월등히 높은 온도로 열처리한 시료는 그 결정이 10^4배의 높은 증기압 차이로 인하여 화합물의 생성이 줄어드는 것으로 생각된다. 따라서 드로핑 증착을 통해 증착한 다층막의 적절한 열처리를 통하여 증기압의 차가 심한 화합물의 박막 제조가 가능하고 InSb는 다층막은 200℃정도가 열처리 온도로 가장 적합하다고 추정할 수 있다.

반도체를 사용하는 소자에서는 외부와 신호를 주고받기 위해서 접촉이 형성되어야 하는데 이들 접촉은 오믹접촉을 통하여 이루어진다. 오믹접촉은 금속-반도체 접촉이지만 정류접촉이 아닌 저 저항성 접합으로서 금속과 반도체 사이에서 양방향으로 전도가 이루어진다. 이상적인 오믹접촉을 통하여 흐르는 전류는 인가한 전압의 선형함수이며, 측정시 오차를 줄이는데 필요한 사항이다.

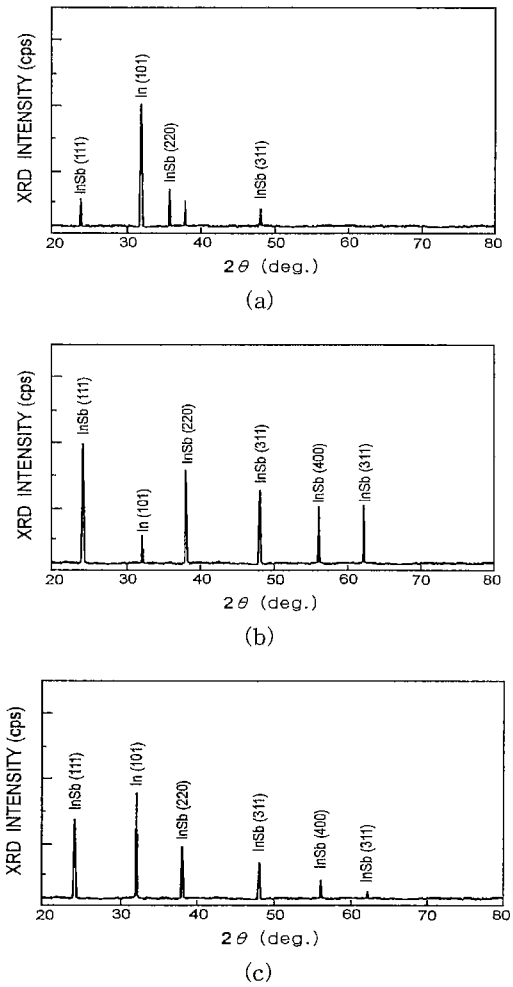


그림 5 (a) 100℃, (b) 200, (c) 300℃에서 열처리한 InSb 박막의 X-선 형태

Fig. 5 X-ray pattern of InSb thin films annealed at (a) 100℃, (b) 200(c), (c) 300℃

그림 6은 접점으로 인듐을 사용하여 200℃에서 3분간 열처리한 시료에서의 오믹특성을 나타내었는데 열처리한 시료로서 전류의 증가에 따라 선형적인 증가

를 보이고 있는 오믹접촉 특성을 보이며 3.3[kΩ] 정도의 저항을 보이고 있다. 그림 7은 자장의 변화에 따른 이동도의 변화를 열처리 온도에 따라 나타낸 것으로 100℃에서 열처리한 시료는 0.001T에서 2×10^3[cm^2/V · sec]의 이동도를 나타내고 있으며 9T까지 변화과정에서 이동도는 불규칙한 변화를 나타내고 있음을 보이고 있다. 200℃와 300℃에서 열처리한 시료는 각각 0.001T에서 5×10^3[cm^2/V · sec]와 1×10^4[cm^2/V · sec]의 값을 나타내고 있다. 이는 100℃와 300℃에서 열처리한 시료에 비하여 이동도가 높고 안정된 특성을 보이는 것으로 판단된다.

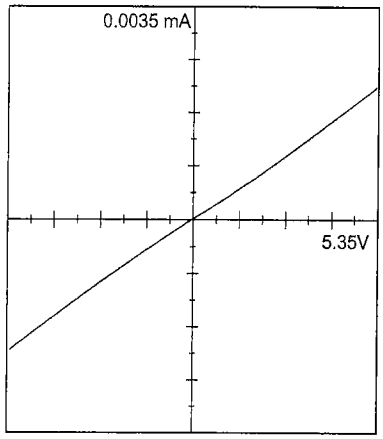


그림 6 열처리한 접점의 I-V 곡선
Fig. 6 I-V curve in ohmic contact.

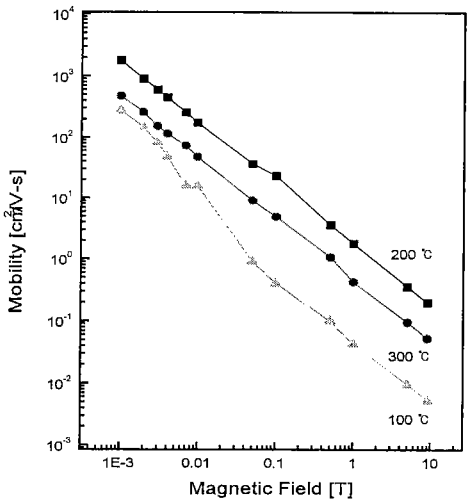


그림 7 열처리 온도 변화에 따른 이동도 특성

Fig. 7 Characteristics of mobility and magnetic field on various annealing temperature.

서로다른 층수(1층, 2층, 3층)의 병렬구조를 갖는 3개의 InSb 박막을 제작하고 자계 의존성을 확인하기 위하여 자장의 변화에 따른 비저항 및 홀 효과를 측정하였다. 그림 8은 자장의 변화에 따른 이동도를 나타낸 것으로 자장이 증가함에 따라 일정한 값으로 포화됨을 볼 수 있다. 1T이하에서는 각각의 층에 따라 이동도가 뚜렷한 구분을 보이고 있는데, 1T이상에서는 층간의 구분이 없어지고 서로 비슷한 값으로 포화되고 있어 저 자기장 영역에서 응용 가능한 소자임을 확인할 수 있었다. 또한 1층에 비하여 2, 3층에서는 이동도가 훨씬 높으며 급격한 변화추이를 확인할 수 있다. 그림 9는 자장의 변화에 따른 캐리어 농도를 나타낸 것이다. 0.32T에서 1, 2, 3층의 캐리어 농도는 각각 10^{12}[/㎠], 10^{13}[/㎠], 그리고 10^{14}[/㎠] 정도의 값을 보이고 있으며 층수의 증가에 따라 밀도는 감소함을 보이고 있다

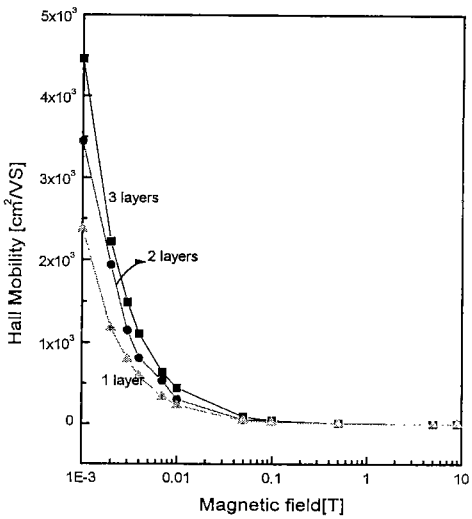


그림 8 자계의 변화에 대한 이동도 특성
Fig. 8 Characteristics of Hall mobility and magnetic field on different layers.

그림 10은 자장의 변화에 따른 홀 전압을 나타낸 것으로 0.01T에서 2층은 5×10^{-4}[V], 3층은 1.5×10^{-3}[V] 정도의 값을 보이고 있어 단층에 비하여 더욱 향상된 특성을 보이고 있다. 드롭핑 증착을 통하여 제작한 다층 병렬식구조의 자장의 변화에 의한 홀 전압, 이동

도, 농도, 비저항을 측정한 결과 3층의 다층 병렬구조에서 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 특히 센서 응용에서 중요한 부분인 홀 전압은 1층에 비하여 2층, 3층은 0.01T에서 각각 5×10^{-4}[V], 1.5×10^{-3}[V] 정도로 더욱 우수한 특성을 나타내었고 1층에서는 0.002T의 값에서 홀 전압이 포화되는 반면 다층에서는 0.1T의 값에서 포화됨을 확인할 수 있었다. 따라서 다층 병렬식 구조로 제작된 InSb 홀 소자는 0.1T 이하의 자계 범위에서 응용 가능할 것으로 판단된다.

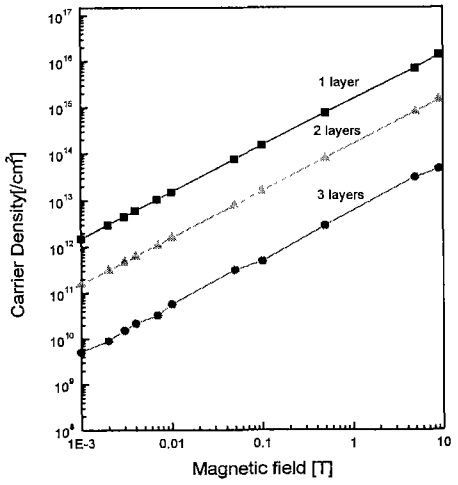


그림 9 자계의 변화에 대한 캐리어 농도 특성
Fig. 9 Characteristics of carrier density and magnetic field on different layers

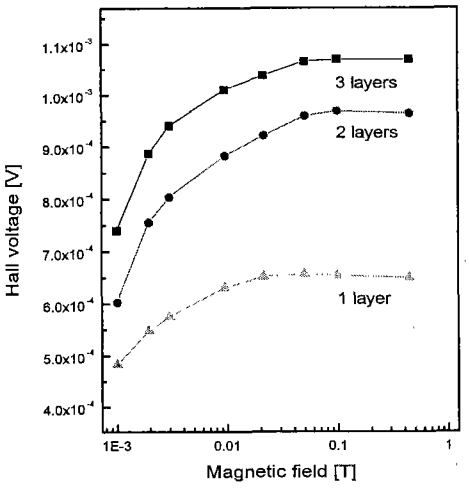


그림 10 자계의 변화에 대한 홀 전압 특성
Fig. 10 Characteristics of Hall voltage and magnetic field on different layers

4. 결 론

본 논문에서는 홀 소자로 이용되고 있는 InSb 다층 구조의 자기적인 특성을 연구 하고자 다층 구조의 박막을 제작하고 자기적인 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

드롭핑 증착법을 통하여 제작한 InSb 박막을 100℃, 200℃, 그리고 300℃의 온도로 열처리하여 그 특성을 알아보기 위해 X-ray 회절선, 표면사진 그리고 자장의 변화에 따른 이동도를 통하여 확인한 결과 200℃에서 60분간 열처리한 박막에서 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다. 표면에 침상구조를 보이지 않는 결정의 배열이 균일하고 (111)의 방위를 갖는 InSb가 가장 많이 생성된 것을 확인할 수 있었으며, 0.001T에서 200℃로 열처리한 시료가 100℃와 300℃의 온도로 열처리한 시료에 비하여 상대적으로 높은 1780[cm^2/V · sec]의 이동도를 얻을 수 있었다. 홀소자의 정확한 측정을 위하여 인듐을 전극으로 증착하였는데 200℃에서 3분간 열처리한 시료는 전류의 증가함에 따라 선형적인 증가를 보이고 있는 오믹접촉을 보이며 3.3k Ω 정도의 저항을 보였다. 자장의 변화에 의한 홀전압, 이동도, 농도, 비저항을 측정한 결과 100℃에서 열처리한 시료는 0.001T에서 2×10^3[cm^2/V · sec]의 이동도를 나타내었으며 200℃와 300℃에서 열처리한 시료는 각각 0.001T에서 5×10^3[cm^2/V · sec], 그리고 1×10^4[cm^2/V · sec]의 값을 나타내어 200℃에서 열처리한 시료는 100℃와 300℃에서 열처리한 시료에 비하여 더 높은 이동도와 안정된 특성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 자장의 변화에 대한 홀 전압, 이동도, 농도 그리고 비저항을 측정한 결과, 3층의 다층 병렬구조에서 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 특히 센서 응용에서 중요한 부분인 홀 전압은 0.01T 정도에서 포화되고 있으며 특히 2층, 3층은 0.01T에서 각각 5×10^{-4}V, 1.5×10^{-3}V 정도의 값으로 단층에 비하여 상대적으로 높은 값을 나타내며 0.1T까지 자장의 변화에 대하여 홀 전압의 상승이 급격히 이루어지고 있다. 이것은 단층에 비하여 2층 및 3층이 홀 감도가 향상됨을 의미하고 있어 다층 병렬식 구조가 고감도의 홀 소자 응용에 유리하다고 판단된다.

본 연구를 통하여 제작된 다층 구조는 주위 환경에 영향이 적은 자기 센서로서 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 보다 많은 연구를 통하여 GaAs, InAs에 적용을 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2000년도 과학기술부, 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 연구비지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

1) Jones B. E.. Hall effect devices : Magnetic sensors and characterization of semiconductor, IOP Publishing Ltd., 1991, pp. 1~223.
2) 차준호 · 김남영. "화합물 반도체 자기 센서." 「전기전자재료학회지」 9 : 512-517, 1996.
3) 한국 표준과학 연구원. 「반도체의 Hall 이동도 평가기술 개발」, 과학기술처, 1994, pp.10~13
4) A. Miller, K. R. Welford and B. Daino. Nonlinear Optical Materials and Devices for Applications in Information Technology, Kluwer Academic Publishers, 1996, pp.143.
5) S. Ignatowicz and S. Kobendza:Semiconducting thin films of A^{II} B^{VI} Compounds, Oxford Science Publications, 1989, pp.73~87.
6) C. L. Chien and C. R. Westgate. The Hall effect and its application : proceedings edit, Plenum, 1980, pp.137~194.
7) A. Stolocits, A. Sherman and T. Avarmaa. "Magnetoresistance study of a thin α-tungsten film." *The American Phys. Soc. Phys. Rev. B, 58(17)*:1980,111~114.
8) V. N. Dobrovolsky and V. G. Litovchenko. Surface Eleclectronic Transport Phenomena in Semiconductors, Oxford Science Publications, 1990, pp.43~108.
9) N. P. Gavaleshko, V. Z. Slobodyan, E. I. Radevich and I. G. Orlerskii. "Electrical and Galvanomagnetic Properties of Heavily Doped InSb(Mn)." *Inorganic Materials 31*:1152~1154, 1995.
10) H. Okimura, Y. Koizumi and S. Kaida. "Electrical properties of p-type InSb thin films prepared by coevaporation with excess antimony." *Thin Solid Films 254*:169~174, 1995.
11) T. Fukunaka, T. Matsui and S. Matsuno. "Investigation of crystal growth of (111) InSb thin films to produce high performance Hall elements." *J. Materials. Res. 14*:39~43, 1999.
12) D. B. Gadkari, K. B. Lal, A. P. Shah and B. M. Arora. "Growth of high mobility InSb crystals." *J. Crys. Grow. 173*:585~588, 1997.
13) A. Rastogi and K. V. Reddy. "Growth of dielectric layers on the InSb surface", *Thin Sol. Film. 270*:616~620, 1995.