

## InSb 홀소자의 자기적 특성

### Magnetic Properties of InSb Hall Devices

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

Woo Sun Lee, Kwon Woo Choi, Jun Ho Cho, Yong Ho Chung, Sang Yong Kim, Yong Jin Seo

#### Abstract

In the current development of magnetic sensors based on the Hall effect, the following two approaches can be distinguished. The first, one tries to build better sensor based on conventional Hall devices. The innovations come through a better understand of the details of the operating principle and secondary effects, and through the application of ever-improving microelectronics technology. In the second approach, one hopes to build better sensors by making use of the Hall effect in active devices, such as magneto-transistors and MAGFET.

In this paper, we study magnetic properties of Hall device fabricated with series and parallel multilayers.

#### I. 서론

반도체 소자의 재료와 그 가공기술이 비약적으로 진보하고있어, 그 용도와 응용이 광범위하게 넓어지고 있다. 또한, 홀소자는 비접촉 센서로서 모터에서 회전하는 자계의 위치를 검출하거나, 자장에서의 자계의 세기를 측정할 수 있는 자전로써, 최근 VTR, 오디오 제품, 정밀 통신 기기등의 핵심 부품인 소형 정밀 모터나 직류 브러시리스(DC brushless)모터의 속도 감시 및 제어용으로 사용되며 가우스 미터(gauss meter) 등 자계 측정 장비에도 쓰인다. 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.반도체 기술의 비약적인 발전에 따라 홀 소자의 센서로서의 응용은 더욱

활발히 이루어지고 있으며 자기 센서로서의 최근 동향은 두가지 형태로 구분하여 다음과 같이 접근할 수 있다. 첫째는 전통적인 홀소자에 기본을 두고 더 나은 센서를 만들려는 것이다. 마이크로 전자공학의 테크닉을 홀소자에 적용하여 동작 이론과 부수효과를 정밀하게 제어함으로써 더욱 새로운 발전을 하고 있다.

두 번째는 자장트랜지스터나 MAGFET와 같은 능동소자에 홀효과를 적용하여 제작함으로써 향상된 성능을 기대하는 것이다. 현재까지 이러한 종류의 자장센서에 많은 관심과 연구를 하였지만 만족할 만한 성과가 별로 없는게 현실이며 이에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다.

센서의 크기나 성능의 향상은 소형화 되어가는 전자기기와 기계류의 흐름을 요구하고 있으며 더욱 넓은 적용온도와 고감도의 센서 제작이 필요하다고 하겠다.

따라서 본 논문에서는 다층 병렬구조의 InSb 홀소자용 박막을 제작하여, 그 물성을 측정하며, 자기적인 특성을 측정하고자 한다.

#### 2. 자기센서의 제작

드롭핑 증착법을 그림 1에 나타내었다. 발열체에

\*:조선대학교전기제어계측공학부(E-Mail:wslee@mail.chosun.ac.kr)

\*\* :서강정보대학 열냉동과

\*\*\* :아남반도체

\*\*\*\* :대불대학교 전기전자공학부

\*\*\*\*\*:조선이공대 전기과

한 덩어리의 InSb 결정을 넣고 그것을 증착할 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 2(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, 서너개의 층을 번갈아가며 축합된 조성을 형성하는 수단으로 사용된다. 이 방법 또한 그림 2(a)와 같이 표면 옥사이드(Oxide) 층을 증착하고 열처리를 함으로써 비로소 화학적 조성이 균일한 막을 얻을 수 있다.

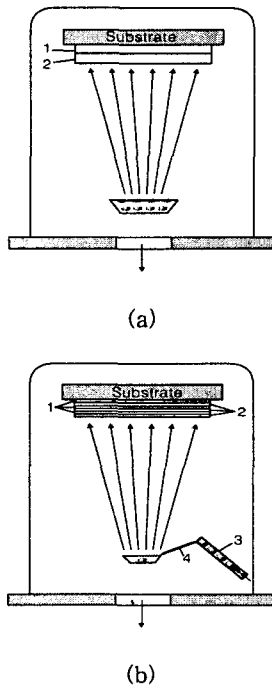


Fig. 1 Schematic diagram of dropping evaporation method (a) a single charge (b) a small charge

본 실험에 사용된 Substrate는 유리를 사용하였다. 홀 소자의 성형에 앞서 유리기판의 세척 및 건조공정을 실시하였는데, 기판에 존재하는 미세한 불순물 일지라도 측정에 오차의 요인이 되므로 기판에 지문이나 유기물질 먼지등이 묻지 않도록 하였다. 시료가 닫는 도구나 용기도 미리 세척을 실시하여 주변으로부터 오염을 최소화하였으며 그 과정 및 순서를 표 1에 나타내었다.

Table 1. Cleaning process in substrate

|   |   |
|---|---|
| 1 | Rise in ultra pure water, twice               |
| 2 | Ultrasonic cleaning in acetone 15~ 20min, 50℃ |
| 3 | Ultrasonic cleaning in acetone 15~ 20min, 50℃ |
| 4 | Ultrasonic cleaning in ethanol 15~ 20min      |
| 5 | Rise in ultra pure water, 7times              |
| 6 | Ultrasonic cleaning in ultra pure water       |
| 7 | Drying 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 와이어 본딩을 고려해야한다. VDP법은 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 ohmic contact 과정으로 나누어 실시하였다.

마스크는 유리기판과 같은 크기의 동판에 그림 2(c)와 같은 형태로 제작하였고 이를 유리기판위에 배치하여 드롭핑 증착을 실시하였다. 진공은  $10^{-2}$ 까지 로타리 펌프로 배가한 후, 오일 확산펌프(oil diffusion pump)를 함께 가동하여  $10^{-5}$ 까지 배기하여 증착을 실시하였다. 기판온도는  $100^{\circ}\text{C}$ 를 유지하면서 증착하였으며, 일정한 간격과 시간으로 열원에 시료를 떨어뜨려 균일한 다층막이 형성될 수 있도록 하

였다. 다음으로 InSb 박막을 증착한 시료 위에 그림 3와 같은 절연층(SrTiO<sub>3</sub>)을 형성시키기 위하여 스퍼터링 증착을 실시하였는데 원형 마스크를 제작하여 전극 부분을 제외한 InSb 층위에 2000Å의 두께로 증착하였다. 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.

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. InSb 박막 위에 인듐의 지름이 0.5mm의 크기로 증착하여 100℃, 200℃, 300℃로 3분간 각각 열처리하였다. 인듐은 용점이 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 예열과정을 거친 뒤 시료를 챔버내로 삽입하였다.

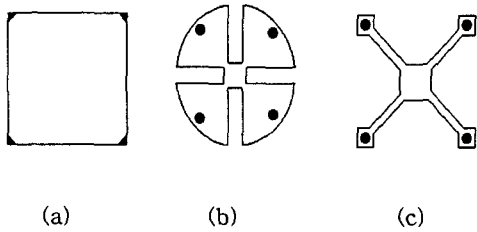


Fig. 2 Typical van der Pauw patterns and contact position (a) square (b) clover-leaf (c) Greek cross

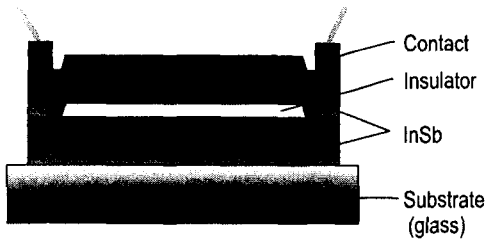


Fig.3 InSb Hall devices on the glass

### 3. 제작된 박막의 자기적 특성

서로다른 층수(1층, 2층, 3층)의 병렬구조를 갖는 3개의 InSb 시료의 홀효과를 알아보기 위해 자장(T)과 온도를 가변하면서 그 특성을 측정하였다. 그림 4는 자계변화에 따른 홀계수를 나타낸 것이다. 드롭핑 증착을 통한 다층 병렬구조의 전기적인 특성을 측정하였으며 자장의 변화에 의한 이동도(그림 5), 농도(그림 6), 홀전압(그림 7)를 측정한 결과 3 layer를 갖는 다층 병렬구조에서 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 특히 센서 응용에서 중요한 부분인 홀전압은 1 layer에 비하여 2 layers, 3 layers는 0.01[T]에서 각각  $5 \times 10^{-4}$ [V],  $1.5 \times 10^{-3}$ [V] 정도로 더욱 우수한 특성을 나타내었으며 1 layer에서는 0.002 teslar 정도의 값에서 홀전압이 포화되는 반면 다층에서는 2 teslar 정도의 값에서 포화됨을 확인할 수 있었으며 자장에 대하여 더 향상된 특성을 나타내었다. 또한 온도의 특성을 측정한 결과에서도 홀 전압이, 이동도의 값이 1 layer에 비하여 더욱 향상된 특성을 나타내었다.

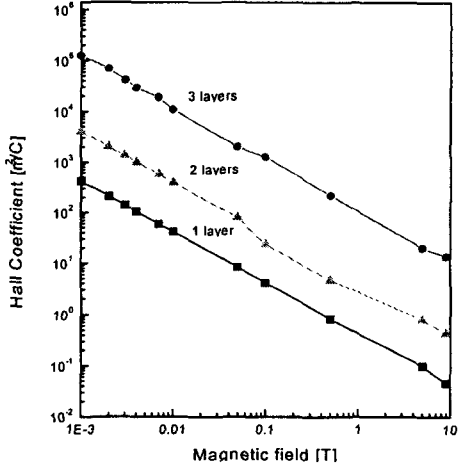


Fig. 4 Characteristics of Hall coefficient and magnetic field on different layers

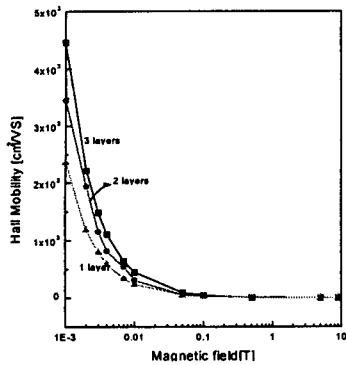


Fig. 5 Characteristics of Hall mobility and magnetic field on different layers

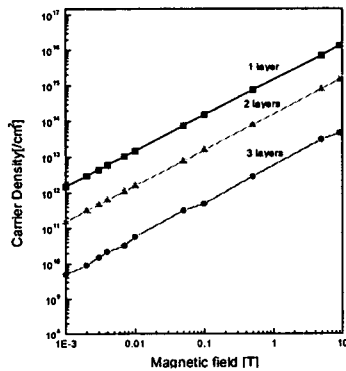


Fig. 6 Characteristics of carrier density and magnetic field on different layers

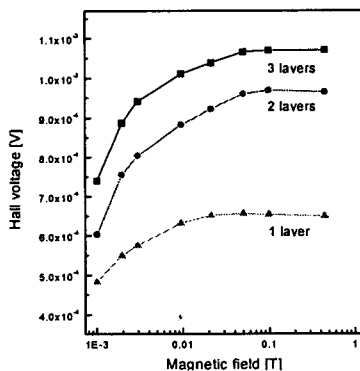


Fig. 7 Characteristics of Hall voltage and magnetic field on different layers

#### 4. 결 론

본 논문에서는 홀 소자로 이용되고 있는 InSb의 특성을 개선하고자 다층 병렬구조의 박막을 제작하고 자장 및 온도에 대한 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

3 layer를 갖는 다층 병렬구조에서 가장 우수한 홀효과 특성을 나타내었으며, 특히 센서 응용에서 중요한 부분인 홀전압은 1 layer에 비하여 2 layers, 3 layers는 0.01[T]에서 각각  $5 \times 10^{-4}$ [V],  $1.5 \times 10^{-3}$ [V] 정도로 더욱 우수한 특성을 나타내었으며 1 layer에서는 0.002 teslar 정도의 값에서 홀전압이 포화되는 반면 다층에서는 2 teslar 정도의 값에서 포화됨을 확인할 수 있었으며 자장에 대하여 더 향상된 특성을 나타내었다. 또한 온도의 특성을 측정 한 결과에서도 홀 전압이, 이동도의 값이 1 layer에 비하여 더욱 향상된 특성을 나타내었다.

#### 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] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] J. F. Sanchez-Royo, D. Errandonea, R. Segura, L. Roa and A. Chevy, "Tin-related double acceptor in gallium selenide single crystals", J. Appl. Phys. 83(9), pp. 4750-4755, 1998