

Co-sputtering법으로 제조한 InSb박막의 후열처리기술에 의한 자기저항 특성

김태형, 소병문*, 송민중**, 박춘배
원광대학교, 익산대학*, 광주보건대학**

Properties of magneto-resistance by annealing using by co-sputtering method

Tae-Hyong Kim, Byung-Moon So*, Min-Jong Song**, Choon-Bae Park
Wonkwang Uni, Iksan college*, Kwangju Health College**

Abstract

Many compound semiconductors which have high carrier mobility and small band gap have attentive in application of various practical a field. Especially, InSb served for Hall device and magnetic resistor such as magnetic sensor because InSb thin film has high mobility. Many studies on InSb thin film deposition because In and Sb has been very different feature of vapor pressure(10^{-4} times) When In and Sb deposited.

In this paper studied it In and Sb deposited simultaneously using by method of co-sputtering deposition. This process, get to effects of manufacture process simplification. After that this paper observed micro structure and electronic behavior of InSb thin film using by co-sputtering and we study properties of magneto-resistance by annealing.

Key Words : InSb thin film, magnetic resistor, co-sputtering, electron mobility

1. 서론

반도체산업의 급속한 발전은 반도체를 이용한 센서의 발전을 또한 가져다 주었는데, 자기센서에 쓰이고 있는 InSb, InAs, GaAs와 같은 III-V족 화합물 반도체는 높은 전자 이동도와 작은 밴드갭 에너지를 가지고 있다. 특히 InSb의 경우 높은 전자 이동도($76,000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$)로 인해 홀소자 및 자기저항 소자에 널리 사용되고 있으며[1]. 또한, 적외선 검파에도 널리 쓰이고 있다[2]. 이와 같이 InSb은 그 응용영역이 매우 넓으며, 낮은 용융점(525°C) 때문에 증착이 또한 용이하다. 그러나 InSb증착시에 In

과 Sb은 같은 온도에서 10^{-4} 배 이상의 큰 증기압차를 나타내고 있다. 600°C 에서 In은 10^{-6}Torr , Sb은 10^{-2}Torr 의 증기압을 나타내기 때문에 동일조건에서 정량비의 InSb화합물 증착이 어렵게 된다.

이러한 In과 Sb의 특성 때문에 InSb박막의 제조방법으로 Flash Evaporation법[3], Dropping evaporation법[4] RF-Sputtering법[5], MBE법[6][7], 삼온도법[8]등의 많은 증착법이 시도되고 있다.

InSb 자기저항소자에서 자기저항특성의 중요한 매개변수는 전하이동도이다. InSb의 자기저항은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$R=R(0) \cdot (1 + g\mu^2B^2)$$

여기에서, R은 소자의 저항, R(0)는 자장이 0일 때 내부저항, g는 소자의 L/W(Length/Width), B는 자속밀도(T), μ 는 전자이동도이다.

본 논문에서는 SiO₂웨이퍼 상에 Co-sputtering법으로 혼합형 In과 Sb를 증착하고, 이를 다시 공기중과 진공중에서 각각 후열처리를 하여 후열처리 기술에 따른 전자이동도 μ 를 측정 검토한다. 또한 InSb의 증착시 자기저항소자의 상용화를 위해 패터닝증착을 실시하고 최적의 공정조건을 선정한다.

2. 실험

Co-Sputtering법을 이용하여 InSb의 혼합형 박막을 증착하기 위해서, Magnetic gun에 In과 Sb 타겟(3N, 99.9%)을 고정하고, 각각의 타겟 DC전압을 조정하여 In과 Sb를 동시에 증착한다.

Sputtering용 타겟은 지름 2인치에 높이 3mm의 원통형 타겟을 사용하였다.

기판은 4인치의 SiO₂웨이퍼를 사용하였으며, InSb박막증착에 있어서 웨이퍼에 존재하는 유기물이나 미세한 불순물은 증착조건에 큰 영향을 미치므로 웨이퍼 크리닝을 실시하였다. 웨이퍼를 아세톤으로 세척하고, 아세톤 제거를 위해 IPA용액 처리를 한 다음 DI-water로 세척하였다.

Sputter챔버 내 증기압은 2.0×10^{-2} Torr의 진공조건으로 유지하고 Co-sputtering으로 In과 Sb를 동시에 증착하여 복합적으로 1:1의 정량비를 갖는 형태로 증착하였으며, 양단간 전압변화에 따른 In과 Sb의 성분비는 EDX(energy dispersion X-ray) 분석을 실시하여 조정하였다.

In과 Sb 합금화를 위한 후열처리는 In과 Sb 증착 후 공기분위기에서 전기로 온도 450℃, 500℃, 550℃로 각각 5분~30분 동안 실시하였으며, 진공중에서는 공정의 단순화를 위해 스퍼터링내 진공조건을 5.0×10^{-3} Torr로 유지하면서 100℃, 200℃, 300℃에서 각각 5분~30분 동안 실시하였다.

박막의 두께는 전자이동도에 큰 영향을 주므로 중요한 요소인데 1.6 μ m~1.7 μ m일 때 가장 큰 전자이동도를 나타낸다[9]. 따라서 박막의 두께는 인가전압과 증착시간제어를 실시하여 최적조건을 선정하였다.

In과 Sb의 정량조성비를 확정한 후, 증착시에 기판의 온도변화에 따른 조성비의 변화와 입자의 증착 표면 결정성장을 관찰하기 위해 XRD(X-ray diffraction)분석을 실시하였으며, 후열처리 조건에서 온도와 시간의 변화에 따른 전자이동도 측정을 위해 Hall-effect Measurement System(Lakeshore: USA)을 이용하여 전자이동도를 측정하였다.

InSb 증착시에 패턴의 균질성을 유지하기 위해서 기판홀더 뒷면에 자계를 걸어 메탈마스크를 사용 패턴을 형성하였다.

3. 결과 및 고찰

그림1은 In과 Sb 타겟의 인가전압에 따른 In과 Sb의 함량 비율을 나타낸 것이다. In이 Sb보다 증기압이 높기 때문에 sputter의 Sb 타겟 인가전압은 300V로 고정하고 In 타겟인가전압은 300V에서 400V까지 변화시켰다. 그 결과 Sb 타겟 인가전압 300V, In 타겟 인가전압 320V에서 1:1의 화학양론적 결합을 나타내었다.

그림2는 기판온도150℃에서 In(320V)과 Sb(300V)이 1:1로 증착된 박막의 표면 미세구조이다. 여기에서 일반적으로 사용되고 있는 InSb 적층형이 아닌 혼합형으로 증착되어 있음을 알 수 있다.

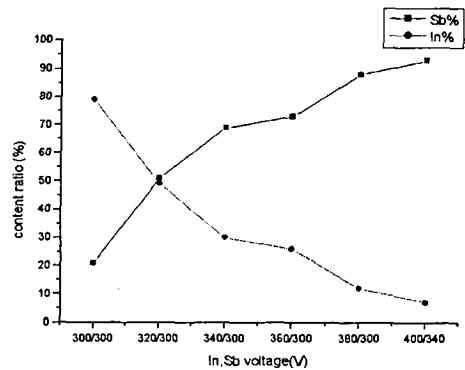


그림 1. In, Sb 타겟 인가전압과 In, Sb함량비율
fig. 1. In, Sb Target Voltage and In, Sb content ratio(%)

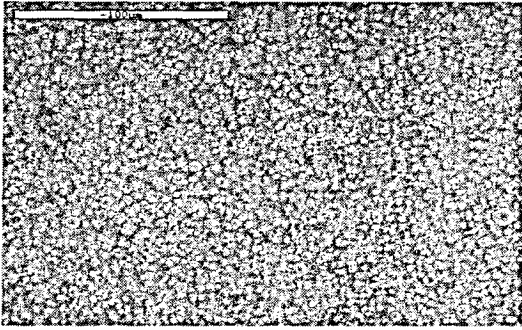


그림 2. InSb박막의 미세구조
(인가전압 In:320V, Sb:300V, 기판온도 100℃)

Fig. 2. Micro structure of InSb thin film
(Voltage In:320V, Sb:300V, temperature 100℃)

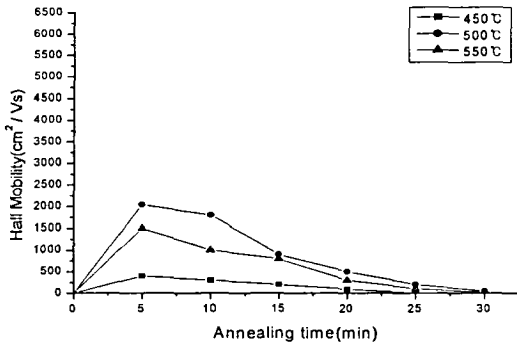


그림 3. 공기중 후열처리 온도와 시간에 따른 이동도

Fig. 3. Relation between the mobility of deposited at annealing temperature and time in air

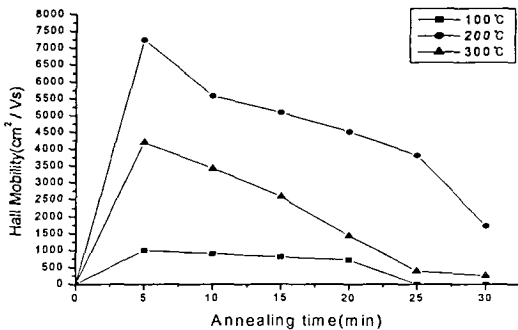


그림 4. 진공중 후열처리 온도와 시간에 따른 이동도

Fig. 4. Relation between the mobility of deposited at annealing temperature and time in vacuum

그림 3은 공기중에서 후열처리 온도와 시간에 따른 이동도를 측정된 것이다. 500℃에서 5분간 후열 처리한 경우에 2115cm²/V·S의 가장 높은 전자 이동도를 보이고, 그 이상의 경우에는 열처리시간이 증가함에 따라 전자이동도가 급격히 감소했다. 그러나 그림4에 나타난 바와 같이 진공조건에서 열 처리한 박막의 전자이동도는 공기 중에서의 후열 처리에 비해 전자 이동도가 훨씬 높다. 250℃ 5min의 조건에서 가장 높은 전자 이동도 72,000cm²/V·S를 보였다.

그림5는 공기 중 500℃에서 5분간 후열처리한 박막의 결정구조를 XRD분석한 결과이다. InSb 박막에서 InSb(111) peak뿐만 아니라, In(101) peak도 나타나고 있다. 이는 후열처리 과정에서 높은 증기압을 가진 Sb의 재증발이 일어나기 때문인 것으로 사료된다. 그림6은 공기 중 500℃에서 5분간 후열 처리한 박막의 표면 미세구조를 나타낸 것이다.

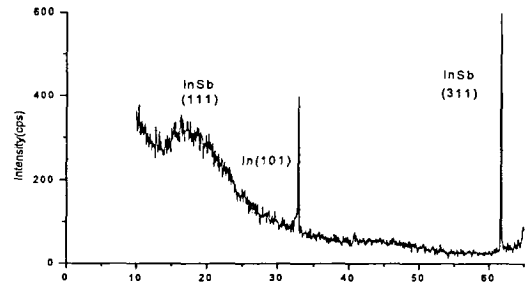


그림 5. 공기 중에서 InSb박막의 XRD 패턴
(후열처리 500℃, 5min)

Fig. 5. X-ray diffraction pattern of InSb in air
(annealing 500℃, 5min)

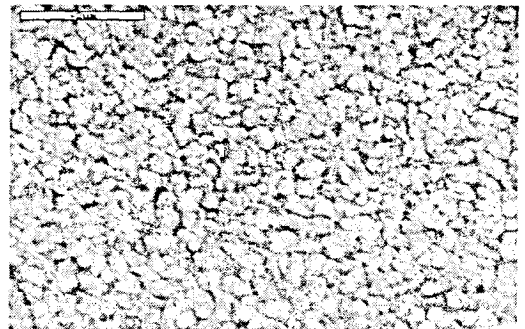
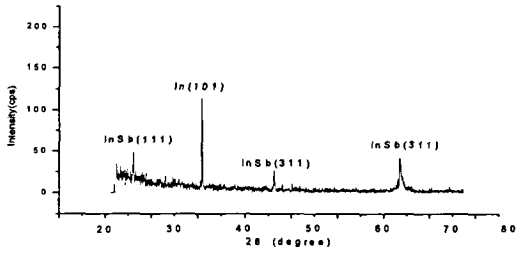
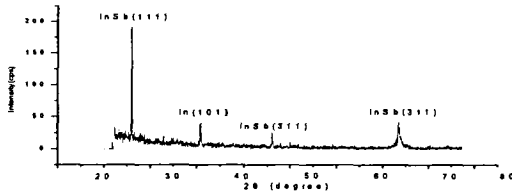


그림 6. 공기중에서 InSb박막의 미세구조(후열처리 500℃ 5min)

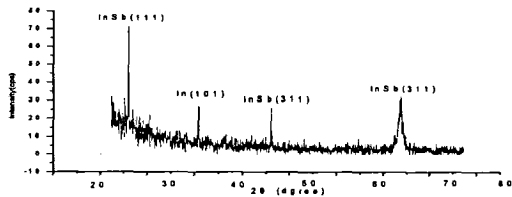
Fig. 6. Micro structure of InSb thin film in air
(annealing 500℃ 5min)



(a)100°C



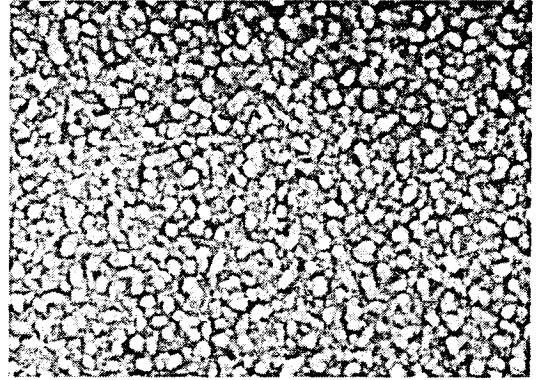
(b)200°C



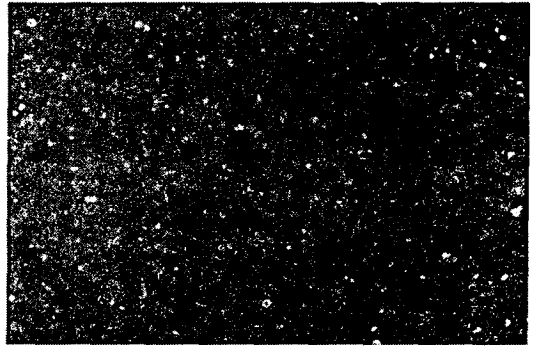
(c)300°C

그림 7. 진공중에서 후열처리한 InSb박막의 XRD 패턴(후열처리(a)100°C (b)200°C (c)300°C, 5min)

Fig. 7. X-ray diffraction pattern of InSb in vacuum (annealing (a)100°C (b)200°C (c)300°C, 5min)



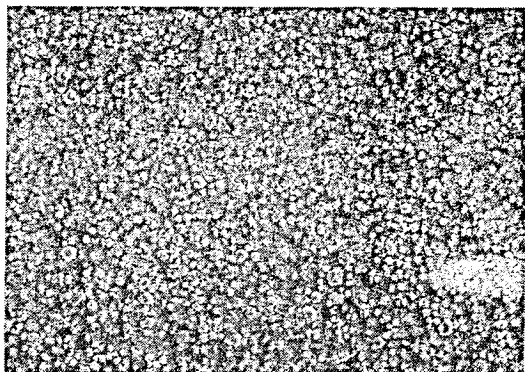
(b)200°C



(c)300°C

그림 8. 진공중에서 후열처리한 InSb박막의 미세 구조 (후열처리 (a)100°C (b)200°C (c)300°C, 5min)

Fig. 8. Micro structure of InSb thin film in vacuum (annealing (a)100°C (b)200°C (c)300°C, 5min)



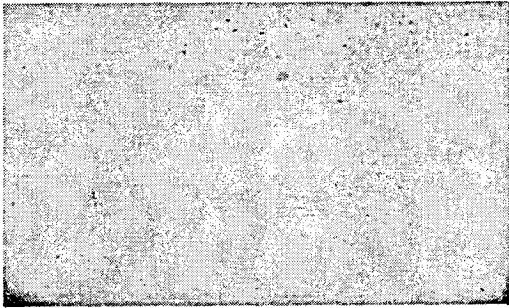
(a)100°C

그림7은 스퍼터링내 진공조건 5.0×10^{-3} Torr 온도 100°C, 200°C, 300°C에서 각각 후열처리 했을때 XRD분석한 결과이다. (a)100°C일경우 In(101) peak가 높게 생성되었으며 InSb이 거의 나타나지 않았다. 300°C의 경우 InSb(111)(311)이 생성되었으나 In(101)peak이 크게 나타나고, 200°C일 때 (111) 방위를 갖는 InSb(111)가 매우 많이 생성되었다. 이는 200°C 5min에서 InSb화합물의 생성이 가장 많이 이루어 졌음을 알수 있다.

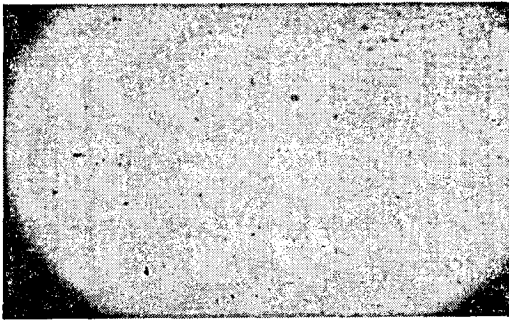
그림8은 온도 100°C, 200°C, 300°C에서 각각 후열 처리 했을때의 표면 미세 구조이다. (a)의 경우 결정성장이 뚜렷하지 않고 (b)의 경우 InSb의 결정이 균일하게 생성되었음을 알수 있다.(c)의 경우

심한 유리상이 나타났다.

그림9는 InSb증착시 패턴을 형성하기 위해 기판 위에 메탈마스크를 씌운 후 증착한 표면이다. (a)는 기판위에 겹쳐서 마스크를 씌워 증착한 표면이고 (b)는 기판뒷면에 자계를 걸고 그 위에 마스크를 겹쳐 증착한 표면이다. (a)는 표면의 증착구조가 마스크의 패턴보다 부풀게 나타났고 (b)의 증착구조는 마스크의 패턴과 거의 동일하게 증착되었음이 관찰되었다.



(a)자계를 인가하지 않았을 경우



(b)자계를 인가했을 경우

그림 9. 자계에 의한 패턴변화

Fig. 9. Transformation of patterning by magnetic field

4. 결 론

Co-sputtering법에 의해 In 과 Sb이 1:1혼합구조로 조성된 InSb 자기저항소자 박막을 증착하고, 공기중에서 450℃, 500℃, 550℃에서 각각 5분간 후열처리 한 시편과 진공중에서 100℃, 200℃, 300℃에서 각각 5분간 후열 처리한 InSb자기저항소자시편을 제조하였다. InSb박막의 미세구조는 SEM과 XRD분석, 자기저항특성은 후열처리 시간과 온도에 따른 전하이동도를 측정 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

①Co-sputtering시에 In, Sb의 성분비는 2개의 magnetic gun의 전압조정을 통해 가능하며, In,

Sb의 인가전압이 각각 320V, 300V에서 가장 특성이 우수한 1:1의 화학양론적 비율을 나타내었다.

②InSb박막의 후열처리에 있어서 자기저항특성은 진공분위기 200℃에서 5분간 후열처리한 경우 가장 높은 전하이동도 72,000cm²/V·S를 나타내었다.

③sputter 증착시 메탈마스크 기판 뒷면에 자계를 걸어주었을 때 균일한 패턴이 형성되었다.

④Co-sputtering법을 이용한 혼합형 증착공정기술은 서로 다른 증기압차를 갖는 화합물을 증착하고, 동시에 동일분위기에서 후열처리에 응용 할수 있는 용이한 방법임을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] "센서공학", 일진사, 108~112, 1996
- [2] G. S. Lee, "Indium Antimonide position and infrared detection," Korean Society of Sensor (invited), Pusan, Korea, November, 1999
- [3] J. A. Carrol and J. F. Spivak "Hig mobility InSb thin film by recrystallization" Appl. Phys, 36, pp.2321-2323, 1965
- [4] S.Ignatowicz, S.Kobendza "Semiconducting thin films of A^{III} B^{VI} compound" Oxford Sience Publications, pp.73-87, 1996
- [5] T. Miyazaki, M. Kunugi, Y. Kitamura, and S. Adachi "Epitaxial growth of InSb films by r.f magnetron sputtering Thin Solid Films, 287, pp.51-56. 1996
- [6] A. Okamoto, T Yoshida, S Muramatsu, I S hibasaki "Magneto-resistance effect in InSb thin film grown using molecular beam epitaxy" Journal of Cystal Growth, 201-202, pp.765-768, , 1999
- [7] A. Okamoto, A. Ashihara, T. Akaogi I. Shibasaki "InSb thin films grown on GaAs substrate and their magneto-resistance effect" Journal of Cystal Growth, 227-228, pp.619-624, , 1999
- [8] M. Isai and Oshita "Crystal growth investigation of the magnetically high sensitive InSb evaporated film", J. Appl. Phys. 55. pp.941-945, 1984
- [9] M. Tomisu, N. Inoue and Y. Yasuoka, "Annealing effect of vacuum evaporated InSb thin films" Vacuum, 47, pp242, 1995