

InSb 박막의 제작과 특성에 관한연구

(A Study on the Properties and Fabrication of InSb Thin Film)

문동찬, 송복식 (광운대학교 전자재료공학과)

김선태 (대전공업대학 재료공학과)

조용천 (자네트시스템 중앙연구소 연구원)

전자빔증착기를 이용하여 적외선영역에서 직접천이형 에너지갭을 갖는 III-V족 2원 화합물반도체인 InSb박막을 제작하여 전기-자기적 및 광학적 특성을 조사하였다.

증착된박막의 X-선회절법으로 분석한 결과, 열처리온도 525°C, 열처리시간 30분 열 처리한 박막에서 In₂O₃피크가 없어지고, InSb피크만 나타났으며, 이때의 격자상수 $a_0=6.49 \text{ \AA}$ 이었다.

기판온도가 증가할 수록 InSb박막의 결정화가 일어나 전자이동도는 증가하고 비저항은 감소하였다. 온도 100~300K, 자계 500~9000 gauss범위에서 van der Pauw법에 의한 홀효과를 측정된 결과 증착된 박막의 전도형은 n형이었고, 상온에서 캐리어농도는 $2.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 이었으며, 캐리어농도는 $2.83 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V-sec}$ 이었다.

적외선 분광기로 측정된 InSb박막의 광학적 에너지갭은 기판온도가 증가할 수록 InSb의 에너지갭에 해당하는 값으로 이동하였으며, 기판온도 300°C, 열처리온도 525°C 일때 측정된 값은 0.173eV였다.

I. 서론

III-V족 화합물반도체인 InSb는 Si 및 그밖의 다른 화합물반도체에 비해 월등히 큰 전자 이동도($7.8 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V-sec}$)를 가지며, 직접천이형이고 좁은 에너지갭 0.17eV를 가지므로 3~5 μm 의 영역을 갖는 적외선 검출기 및 빠른 전자이동도를 이용한 홀소자로 사용되고있다.

본 실험에서는 전자빔증착기를 이용하여 인듐과 안티몬의 1:1 원자량비 보다 안티몬을 0.15wt% 더 첨가하여 기판의 온도를 변화시키면서 박막을 제작하고, 제작한 박막을 X-선 회절법으로 격자상수를 구하였으며, van der Pauw법에 의한 홀효과 측정으로 전기 및 자기적 성질을 조사하고, 광투과도 측정으로 광학적 성질을 조사하였다.

II. 실험

실험에 사용한 In과 Sb은 순도 6N을 사용하였으며, 박막제작에 사용한 기판은 현미경용 유리(76×26×1.3 : Gluei Co.)를 세척하여 사용하였다.

한편, 광투과도를 측정하기 위해 사용된 기판은 Si[p-type(100)]를 사용하였으며 탈이온수, 삼염화에틸렌, 아세톤, 메탄올 순으로 초음파 세척한 후 HF+H₂O(1:4)에 1분 정도 담가 산화막을 제거하였다.

세척된 기판위에 전자빔증착기(Electron-Beam Evaporatiopn : Annelva Co., VI-43)를 이용하여 2×10^{-6} 의 진공도에서 구조적으로 균일한 표면을 얻기 위해 낮은 증착속도 ($<5 \text{ \AA}/\text{sec}$)로 박막을 제작하였다.

이와같이 증착한 박막을 열화학반응을 거쳐 재결정화 시키기 위하여 다음과 같은 열처리를 실시하였다. 열처리온도를 525°C로 고정시키고, 열처리 유지시간을 10분에서 30분까지 변화시키면서 열처리하였다.

전기적 특성을 조사하기 위하여 van der Pauw법에 의하여 InSb박막의 비저항, 홀이동도, 홀계수 및 캐리어농도를 구하고, 자계의 변화에 따른 시료의 저항변화를 측정하여 자기저항 및 홀전압의 변화를 측정하였다.

실온에서 박막을 적외선분광기(IR-Spectrophotometer : Shimadzu Co. IR-435)의 홀더에 부착한 후 셔터를 열고 백색광을 시료에 투과시켰다. 2000cm⁻¹범위까지 시료의 광투과도를 측정하여 분광기의 레코더에 기록하여 광학적 에너지갭을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

전자빔증착기로 진공증착된 InSb박막의 표면이 기판온도에 따라 표면상태가 어떻게 변화하는가를 조사한 결과 기판온도가 300°C이하인 경우, 증착된 박막은 기판과 InSb 박막간의 물리적 성질의 차이로 인해 기판으로부터 쉽게 분리되어 떨어졌으며, 기판온도가 증가할수록 crystallite size는 증가하여 기판온도 350°C일때 결정화가 일어나 표면이 어느정도 균일하게 되었다.

진공중에서 열처리한 박막의 X-선회절도를 조사한 결과 기판온도 350°C에서 증착된 InSb박막의 peak는 (111), (220), (311), (331), (422)의 InSb peak외에 Bragg angle 2θ 가 35° 일때 peak가 나타나는데 이는 In₂O₃였다. 그러나 진공중에서 열처리온도 525°C, 열처리시간 30분 열처리한 시료의 peak는 (111), (220), (311), (331), (422)의 InSb peak만 나타난다. 즉, 전자빔증착기로 증착한 InSb박막은 In과잉의 상태가 되지만 이를 진공중에서 열처리함으로써 과잉의 In과 Sb이 서로 반응하여 결정화를 이루게 되어 Sb vacancy가 적고 stoichiometry조성에 가까운 InSb결정구조가 형성되기 때문이라고 사료된다. 이때의 InSb의 격자상수는 6.49 Å이었다.

van der Pauw법으로 홀효과를 조사한 결과 전기전도형은 모든 시료에서 n형이었으며, 기판의 온도가 증가하면 전자이동도가 점차 증가하여 350°C일때 $2.17 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V-sec}$ 의 최대값을 나타내었고, 400°C일때 오히려 감소하여 $1.82 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V-sec}$ 의 값을 나타내었다. 또한 비저항은 기판의 온도가 증가할수록 점차 감소하였으나, 400°C일때 오히려 증가하였다. 이는 기판온도가 높아짐에 따라 InSb박막의 결정화가

일어나 전자이동도는 증가하고, 비저항은 감소됨을 나타낸다. 그러나 기판의 온도가 너무 높으면 InSb박막 표면으로부터 Sb의 재증발이 일어나 과잉의 In이 존재하게 되며 이들이 current injection통로역할을 하여 Hall potential을 단락시키는 결과가 되어 전자이동도는 감소하고 비저항이 증가하게 되는 것이라 사료된다.

기판온도 350°C로 제작된 시료를 525°C로 30분동안 열처리한 결과 $2.83 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{V-sec}$ 의 전자이동도를 얻을 수 있었다. 이는 열처리 시간이 길어짐에 따라 In과 Sb가 서로 반응하여 Stoichiometry조성비에 가까운 InSb박막이 형성되기 때문이라고 사료된다.

전자빔증착기로 증착한 InSb에 대하여 300K에서 측정 한 광투과도 곡선을 조사한 결과 기판의 온도가 높아질수록 InSb의 에너지갭에 해당하는 곳에서 투과가 일어남을 보이고 있으며, 열처리온도 525°C, 열처리시간 30분일때 1400cm^{-1} 의 파수보다 큰 광에너지에 대하여 완전한 흡수가 일어났고, 약 800cm^{-1} 의 파수이하의 작은 광에너지에 대해서는 약 80%의 투과율을 나타내었다.

이때 완전한 흡수가 일어난 곳의 파수를 광에너지로 환산하면 0.173eV에 해당된다. 광투과도로 부터 측정된 광학적 에너지갭 Lukes등이 제시한 에너지갭에 비하여 약 13mV정도 크게 나타났다. 이는 결정의 불완전성과 조성비의 국부적인 불균일성에 의한 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 논문은 In과 Sb원소를 전자빔증착기로 진공증착한 후 열처리 과정을 거쳐서 InSb 박막을 제작하였다. X-선회절법으로 InSb박막의 결정화정도를 조사하였으며, 전기적 성질을 규명하고자 van der Pauw법으로 비저항, 전자이동도, 전자농도, Hall계수등을 측정하였다. 한편, 광투과도를 측정하여 광학적 에너지갭을 조사하였다.

1. 기판온도 350°C, 열처리온도 525°C, 열처리시간 30분일때 가장 양호한 상태의 박막이 얻어졌다.
2. 표면사진으로부터 기판온도 350°C, 열처리시간 30분일때 결정의 크기가 가장 큰 박막을 얻을 수 있었다.
3. 진공중에서 InSb박막을 열처리함으로써 Stoichiometry조성에 가까운 InSb결정구조가 됨을 X-선회절분석으로 확인하였다. 그 결과 제작된 박막의 격자상수는 $a_0=6.49 \text{Å}$ 임을 알 수 있었다.
4. 기판온도 350°C, 열처리온도 525°C일때 상온에서의 전자이동도는 $2.83 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{V-sec}$ 였고, 250K에서의 전자이동도는 $3.69 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{V-sec}$ 였다.
5. 실온에서 광투과도 측정으로 조사한 박막의 광학적 에너지갭은 0.173eV였다.