

FeSi₂ 박막 홀 효과의 온도의존성

Hall Effect of FeSi₂ Thin Film by Temperture

이우선*, 김형곤**, 김남오**, 정현상*
(Woo-Sun Lee*, Hyung-Gon Kim**, Nam-Oh Kim**, Hun-Sang Chung*)

Abstract

FeSi₂/Si Layer were grown using FeSi₂, Si wafer by the chemical transport reaction method. The direct optical energy gap was found to be 0.871eV at 300 K. The Hall effect is a physical effect arising in matter carrying electric current in the presence of a magnetic field. The effect is named after the American physicist E. H. Hall, who discovered it in 1879.

In this paper, we study electrical properties of FeSi₂/Si layer. And then we measured Hall coefficient, Hall mobility, carrier density and Hall voltage according to variation magnetic field and temperature. Because of important part for its application various phases of silicide are formed at the metal-Si interface when transition metal contacts to Si. Silicides belong to metallic or semiconducting according to their electrical and optical properties. Metallic silicides are used as gate electrodes or interconnections in VLSI devices. Semiconducting silicides can be used as a new material for IR detectors because of their narrow energy band gap.

Key words : Seebeck, SEM(scanning electron microscopy), iodine, CVT(Chemical Vapor Transport)

1. 서론

반도체 실리사이드(Silicide) 중 자원이 풍부하고 독성이 없는 반도체 철-실리사이드(β -FeSi₂)는 내열, 내부식성 재료로서 1950년대부터 연구된 천이금속인 규소(Silicide) 화합물의 하나로서 큰 제어백(Seebeck) 효과로 인한 열전변환 재료로 실용화되었다. 또한, 1985년 다결정 β -FeSi₂ 박막은 직접천이형 반도체로 보고되었으며 1997년에는 적외선 일렉트론 루미네선스(EL)가 실증되어 광전자소자로서 응용성을 실용화하였다. β -FeSi₂는 금지대폭이 0.8eV~0.875eV인 직접천이형 반도체로서 Si기판상에 박막성장이 가능하여 광전자소자와 광계측기, 태양전지, 열전자변환소자 등 Si-IC의 광배선용의 광원용 반도체뿐만 아니라 1.5 μ m의 광발광 IR LED 재료로서 사용됨에 따라 많은 연구가 이루어지고 있다.

Si기판위의 β -FeSi₂ 박막성장은 소자응용을 위하여 반응적침전(reposition epitaxy), 전자선증착(molecular-beam epitaxy), solid phase epitaxy(고상에피택시), 이온주입법(ion-beam synthesis)와 펄스레이저증착등에 의한 연구가 진행되고 있다. 그러나 β -FeSi₂ 단결정 개발 등은 결정성장의 어려움 때문에 개발에 많은 제한을 받았다. 클룩과 가케모토 등은 화학기상수송법(Chemical Vapor Transport : CVT) 방법에 의한 단결정 β -FeSi₂의 성장에 대하여 보고하였다. 따라서, β -FeSi₂의 미래응용에 대한 발전과 기초적 기술을 증진하기 위해서는 β -FeSi₂ 박막 제조의 발전은 중요하다.

따라서, 본 논문에서는 CTR 방법에 의하여 P-Type Silicon(100) 기판위에 β -FeSi₂ 박막을 제작하고 아직까지 규명되지 못한 전기적 특성을 규명하여 β -FeSi₂ 반도체 응용의 기반을 확립하고자 한다. 박막의 특성은 SEM과 자장에 따른 홀효과를 측정하여 제작된 FeSi₂ 박막의 특성을

* : 조선대학교 전기공학과

** : 조선이공대학 전기공학과

규명하였다.

2. 실험

실리사이드 FeSi₂박막은 iodine을 수송매체로 사용하여 화학수송법(CTR)으로 성장시켰다. 먼저, 석영관의 내부를 왕수와 HF용액으로 세척하고 1×10^{-6} Torr의 진공상태에서 1000°C로 열처리하여 유기물을 분해시켜 제거하였다.

출발물질로는 고순도의 FeSi₂(99.99%)를 석영관안에 넣고 수송매체로 iodine을 석영관의 단위 cm³당 10mg을 함께 넣은후, BHF용액에서 50초간 Oxide를 제거하여 세척한 8×20 mm크기의 Si웨이퍼를 석영관의 성장부분에 넣은 다음 1×10^{-6} Torr의 진공에서 진공봉입하여 FeSi₂결정성장용 앰플을 만들었다. 이때, 화학양론적 조성을 만족하는 Fe를 10mol % 정도를 과잉으로 첨가하였다.

결정박막은 성장용 앰플을 그림1과 같이 2개 영역의 수평전기로의 중앙에 넣고 그림2의 온도 구배 과정으로 성장시켰다. 또한, 출발영역보다 성장영역의 온도를 100°C 더 높게 유지하면서 100°C/hr의 비율로 성장영역의 온도를 850°C, 출발영역의 온도를 700°C 까지 상승시킨 다음에 이 온도구배에서 48시간동안 유지시켜 성장영역의 석영관 내부를 깨끗이 하였다. 이 온도구배에서 역과정을 거친후 성장영역의 온도는 그대로 유지시키면서, 출발영역의 온도를 20°C/hr의 속도로 1050°C까지 상승시켜 이 온도구배에서 14일동안 유지시킴으로써 Si웨이퍼위에 결정박막을 성장시켰다. 이러한 과정에 의해 성장된 박막은 100 μ m 두께로 균일한 박막을 얻을수 있었다

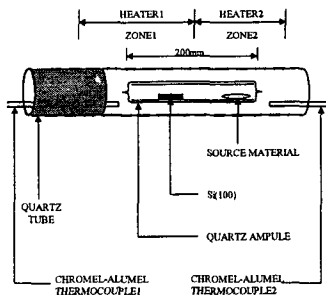


Fig1. Scheme of growing apparatus by the CTR method

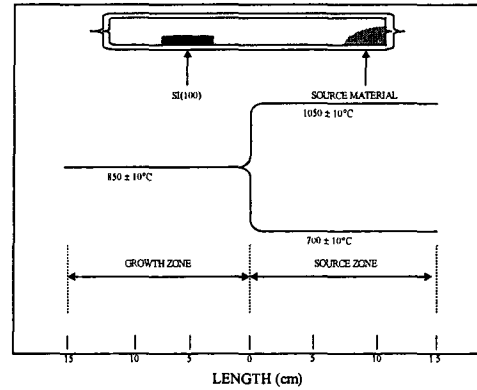


Fig2. Temperature profile for the FeSi growth by the CTR method

3. 실험결과 및 고찰

홀 효과의 자계의존성에 사용되었던 시료의 온도 의존성을 측정하기 위하여 50~300[K]범위에서 온도 변화가 가능한 LN2 cryostat를 사용하여 50[K]에서부터 50[K]씩 증가시키면서 농도, 홀 계수, 이동도, 전도도 등을 측정하였다.

그림3은 형성된 박막의 표면 SEM이며 그림4는 FeSi₂와 Si층의 표면과 단면의 SEM이다. SEM의 해 분석된 단면은 층이 명확하게 경계를 이루고 있음을 알 수 있으며 표면은 열전변환소자로서 사용할 수 있는 평탄한 표면을 가짐을 알 수 있다. 그림5는 CTR법에 의해 형성된 박막의 앞, 뒷면 사진이다.

그림6은 캐리어농도를 온도변화에 따라 측정한 것으로 125[K]까지는 완만한 변화를 지나 그 이상의 온도에서는 급격한 감소의 변화를 가짐을 알수가 있다. 그림7은 온도변화에 따른 홀 계수를 측정한 것으로 150[K]까지는 급격한 증가를 보이다가 150[K] 이상에서 -5.0×10^2 (cm³/C)의 값으로 포화됨을 보이고 있는데 이것은 온도의 변화에 대하여 상대적으로 안정화되는 것으로 생각된다. 그림8은 온도변화에 따른 이동도를 나타낸 것으로 100[K]까지는 일정한 값을 지나 그 이상의 온도에서는 선형적으로 증가를 하는 것을 알수가 있으며, 그림9는 온도변화에 따른 도전율을 나타낸 것으로 50[K]부터 100[K]까지는 0.25 ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)의 일정한 값을 가지다가 100~200[K]의 영역에서는 급격한 증가의 폭을 보이나 200[K]이상의 온도에서는 다시 감소가 되는 것을 알

수가 있다. 이는 200[K]까지는 반도체의 특성인 온도가 증가함에 따라 저항이 감소됨을 보이는 것으로서 그 이상의 온도에서는 β -FeSi₂/Si접촉면에서의 열화에 의한 요인으로 도전율이 감소되는 것으로 사료된다. 그림10은 C-V특성 곡선으로서 전압의 증가에 따라 커패시턴스값은 증가의 형태를 나타내며 이때의 측정온도는 상온이었다.

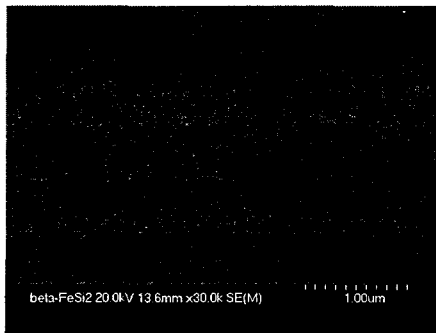


Fig3. SEM surface image FeSi₂/Si Layer

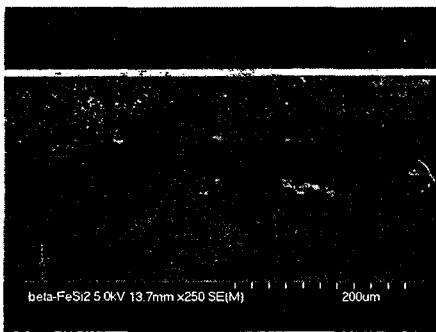


Fig4. SEM cut image FeSi₂/Si Layer

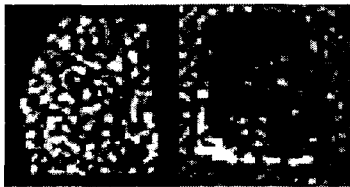


Fig5. FeSi₂/Si thin film by the CTR method

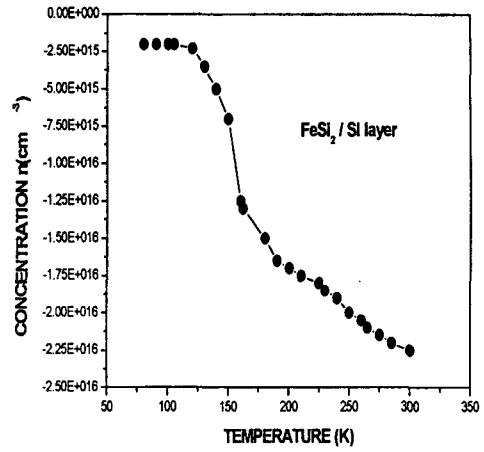


Fig6. Characteristics of concentration and temperature

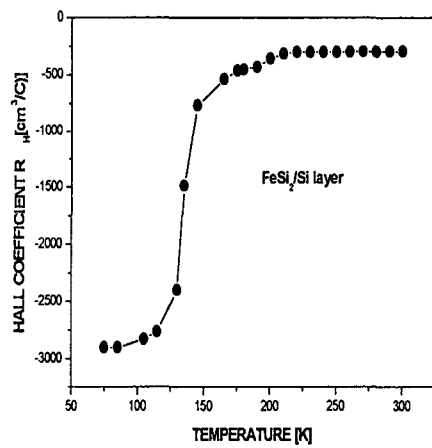


Fig7. Characteristics of Hall coefficient and temperature

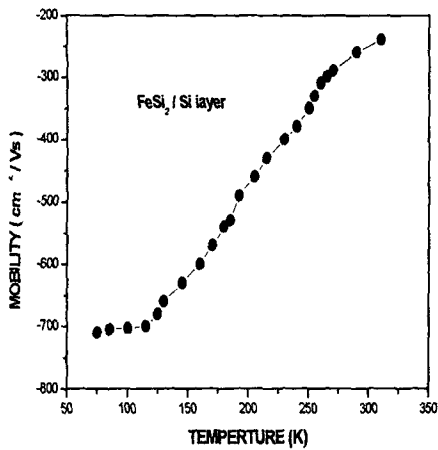


Fig8. Characteristics of Hall mobility and temperature

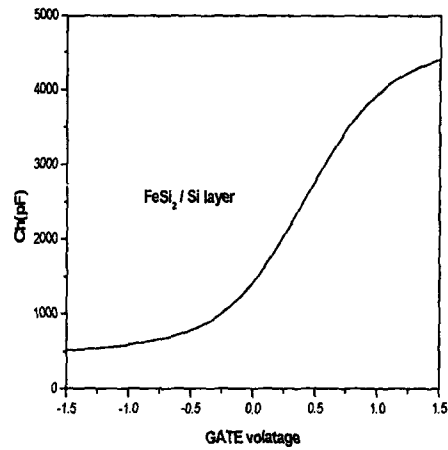


Fig10. Characteristics of capacitance and gate voltage

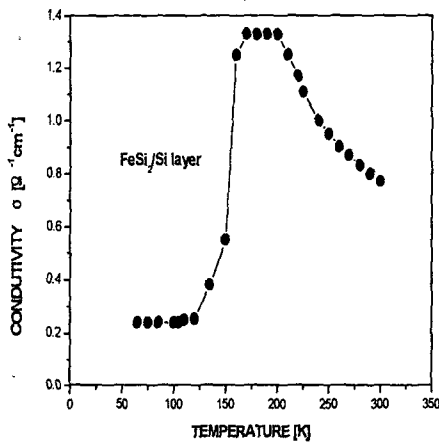


Fig9. Characteristics of conductivity and temperature

4. 결 론

천이금속인 규소(Silicide)화합물의 하나로서 큰 제백(Seebeck)효과로 인한 열전변환 재료로 실용화 할 수 있는 $FeSi_2$ 박막을 제작하고 온도의존성을 확인하기 위하여 자장의 변화에 따른 홀 계수, 이동도, 캐리어농도, 비저항을 측정하였다.

- 1) 온도의 증가에 따라 홀 계수, 홀이동도는 증가를 하며 홀 계수의 경우는 어느 일정온도를 지나면 거의 포화됨을 알수있다.
- 2) 캐리어 농도는 자장의 변화 즉 증가에 따라 감소함을 알수있다.
- 3) 도전율은 일정온도까지는 증가를 하였다가 다시 감소를 하는 것을 알수있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. T. Tung, K. Maex, P.W. Pellegrini, and L. H. Aijen, Slicide Thin Films-Fabrication Properties and Applications, (MRS, Pittsburgh, 1996)
- [2] H. Kakemoto, Y. Makita, S. Sakuragi and T. Tsukamoto, Jpn. J. Phys. 38, 5192(1999)
- [3] P. Muret and K. Lefki, Appl. Phys. Lett. 63, 15
- [4] N. E. Christensen. Phys. Rev. B 42, 7148(1990)
- [5] T. Suemasu and F. Hasegowa, Oyo Buturi 69, 804 (2000)
- [6] 한국 과학기술 연구원. 「Slicide계 열전소자 제조 및 응용 Device연구」, 과학기술처, 1991, pp.17~30
- [7] 한국 표준과학 연구원. 「반도체의 Hall 이동도 평가기술 개발」, 과학기술처, 1994, pp.143