

HoSi₂ 소결체의 전기적 특성 연구

Electrical Properties of Sintered HoSi₂

이우선*, 김형곤**, 김남오***

(Woo-Sun Lee*, Hyung-Gon Kim**, Nam-Oh Kim***)

Abstract

We present electrical transport(resistivity, Hall effect) measurements in varying temperature ranges between 78K and 300K on HoSi₂ composites by hot-pressed sintering. It has been found that this sintered HoSi₂ has a orthorhombic structure, and lattices constant is a = 9.8545 Å, b = 7.7935 Å, c = 7.8071 Å. The measured electrical resistivity is about 1.608Ωcm and carrier mobility is about 6.9 × 10⁴cm²/V · sec at low room temperature. The Hall effect shows a n-type conductivity in the sintered HoSi₂.

Key Words : HoSi₂, hall effect, lattices constant, orthorhombic, conductivity, carrier mobility

1. 서 론

Si과 희토류(RE, rare earth) 금속의 화합물은 전기적, 자기적, 그리고 다른 특성들이 중요하게 여겨지고 있다. RE silicide는 높은 온도에서 안정하고, n형 Si과 결합시 낮은 쇼트키 장벽($\phi = 0.4$ eV)의 특성[1]을 가지고 있다. 이러한 silicide 화합물 중 반도체 특성을 갖는 HoSi₂ 화합물은 IR detectors[2]에 응용성이 높고 전자소자 재료로 micro-electronics 분야에 대한 관심이 높다. 그러나 물리적인 특성은 아직까지 보고된바 없다. 그러므로 HoSi₂ 결정을 전자소자와 광학적 소자에 응용하기 위해서는 기본 물성 규명이 필요하다. 한편, HoSi₂ 혼합물의 결정구조는 사방정계 α -GdSi₂ 구조와 육방정계 AlB₂ 구조[3,4]

로 보고되고 있다. 이것은 Si의 혼합량에 따라서 결정지어지며, 혼합물의 α -GdSi₂ 구조는 1:2(HoSi₂)의 비율에서 구조를 보이고, AlB₂ 구조는 Si이 60%로 혼합되었을 때 나타낸다고 보고되고 있다[5].

본 논문에서는 HoSi₂(99.99%) 시료를 소결하여 표면 연마한 후 전기적인 특성을 측정하였다. HoSi₂ 소결체를 제조한 후 전기적인 특성을 규명하기 위하여 Hall 효과 특성에 따른 전기저항(ER) 온도의존성에 따른 캐리어 농도의 온도의존성과 캐리어 이동도를 측정하여 HoSi₂ 소결체의 전기적인 기본 물성을 규명하였다.

2. 실험

HoSi₂ 소결은 99.9%의 미세 분말 HoSi₂를 가압 성형 방법으로 제조하였다. 이때 직경 10mm의 원형 몰드를 이용하여 1,000kg/cm²의 압력으로 가압하여 pellet를 제조하였다. 그 다음 왕수와 HF용액으로 세척하고 ~10⁻⁶ torr 진공상태에서 1000℃로 열처리하여 세척한 석영관에 pellet 시료를 넣은 후 1 × 10⁻⁶ torr의 진공상태에서 진공봉입 한 후 자체 제작한 전

* : 조선대학교 공과대학 전기공학과 교수
** : 조선이공대학 전기과 교수
*** : 조선이공대학 전기과 전임강사
(광주광역시 서석동 조선이공대학,
Fax : 062-233-1135
E-mail : nokim@mail.chosun-c.ac.kr)
2001년 6월 26일 접수, 2001년 7월 9일 1차심사완료
2001년 8월 30일 2차심사완료, 2001년 9월 11일 3차
심사완료, 2001년 9월 19일 4차심사완료

기공에 장착하여 승온 온도를 분당 10°C로 하여 1150°C로 유지하면서 50시간 동안 열처리한 후 분당 20°C로 냉각시켜 소결하였다. 소결된 시료를 원형의 크기 두께 0.45mm×직경 10mm로 절단하였다. 절단된 시편은 Sic 연마지와 알루미나 분말(1μm, 0.5μm)을 이용하여 연마했으며, 전기적인 특성을 측정하기 위하여 시편 위에 전극을 형성하여 측정에 이용하였다. HoSi₂ 소결체의 결정구조를 파악하기 위해서 X-ray diffractometer(XRD, Rigaku, Gigerflex, Japan)장치를 사용하여 분말 x-ray 회절방법으로 회절무늬를 측정하였다. HoSi₂ 소결체는 HL5500PC Hall 효과 측정기(Bio-Rad)를 사용하여 Hall 효과를 측정하였다. Hall 효과로부터 캐리어 농도를 환산했으며, 전기저항 측정치와 캐리어의 농도로부터 Hall 이동도를 측정했다. 이때 측정온도는 78K에서 270K 까지 온도영역에서 시행했다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 1과 같이 HoSi₂ 소결체에서 구한 X-ray 회절 무늬는 사방정계(orthorhombic) 구조의 (111), (202), (222), (312), (313), (041), (422) 및 (242)면 peaks가 뚜렷이 나타났고, HoSi₂ 단결정에서 구한 단결정 구조와 같다. 이들 회절면의 피크들을 해석하여 구한 HoSi₂ 단결정의 격자상수는 a = 9.8545 Å, b = 7.7935 Å, c = 7.8071 Å로 주어졌으며, 이들 격자상수 값은 JCPDS(13-838)에서 제시한 a = 9.879 Å, b = 7.799 Å, c = 7.839 Å의 값과 비교해 보면 잘 일치한 값이다.

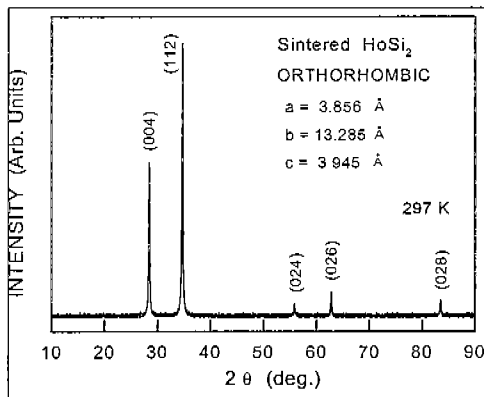


그림 1. HoSi₂의 X-선 회절무늬.
Fig. 1. X-ray diffraction pattern of HoSi₂.

성분조성 분석을 위하여 EDX 스펙트럼을 분석하여 구하였으며, 그림 2는 HoSi₂ 소결체의 성분 및 조성을 보여주고 있으며, Ho과 Si에 해당하는 피크가 나타나고 있다. 또한, 이들 피크 면적을 계산하여 보면, Ho이 36.7%이고 Si이 64.3%로 측정된 결과는 1:2의 비율로 나타나고 있다. 그러므로 HoSi₂ 조성을 만족하고 있다.

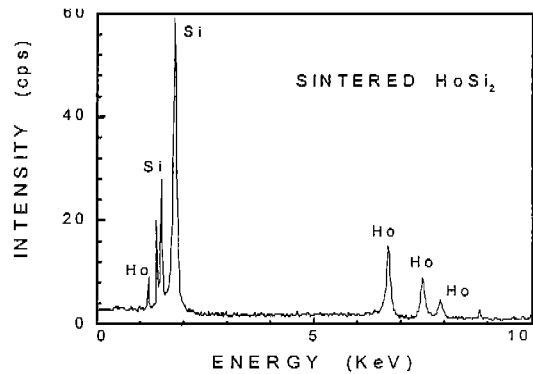


그림 2. HoSi₂ 소결체의 성분분석.
Fig. 2. EDX pattern of sintered HoSi₂.

1050°C 온도에서 열처리한 HoSi₂ 소결체의 결정립의 형태를 고찰하기 위하여 전자현미경으로 고찰하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 결정립의 크기는 약 20μm 정도로 입도분포가 불규칙하게 분포하고 하고 있으며, 결정립의 형성시 표면에 균열이 나타나고 있다. 이는 열처리 온도를 높게 하고 열처리 시간을 증가함으로써 결정립의 크기가 균일하고 구조적으로 안정된다고 생각된다.



그림 3. HoSi₂ 소결체의 표면사진.
Fig. 3. SEM surface image sintered HoSi₂.

반도체를 이용한 소자에서 Hall 효과 측정시 오차를 최소화하기 위해서는 Ohmic 접촉이 형성되어야 한다. 그림 4에서 보이는 바와 같이 전압-전류 곡선으로 전압에 따른 전류의 증가가 선형적인 증가로 Ohmic 접촉 특성을 보이고 있으며, 이때 저항 값은 9.31Ω 정도로 Hall 효과 측정시 오차범위가 적었음을 알 수 있었다.

HoSi₂ 소결체의 전기저항 측정용 시편을 78K에서부터 300K까지의 온도영역에서 측정한 전기저항의 온도의존성은 그림 5에서 300K에서 $1.2 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ 이었고, 측정 온도가 증가함에 따라 전기저항은 증가하였으며, 낮은 온도영역인 78K에서 $7.23 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 로 최소 값을 나타내었다. 한편, 140K 온도영역에서 상전이 변화를 나타내었으며, 140K 이하에서 온도에 거의 의존하지 않는 포화 현상을 보이고 있다.

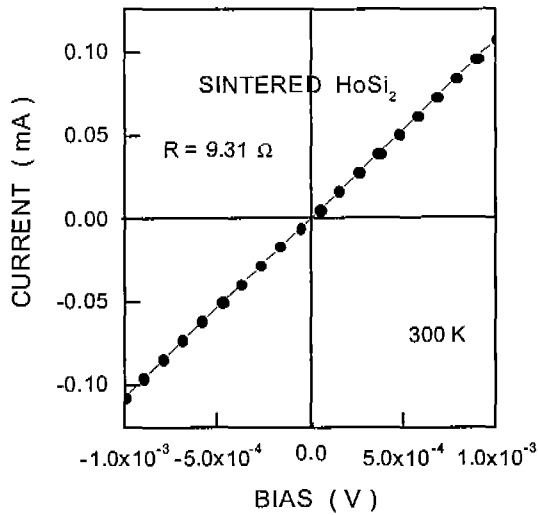


그림 4. Ohmic 접촉저항.
Fig. 4. Ohmic contact resistance.

이와 같은 온도 의존성은 입계 결함상태(grain boundary defect states)의 캐리어 트랩에 의한 과도한 전하 발생으로 인한 높은 전위장벽을 넘는 캐리어의 열이온 방출 때문으로 생각된다. HoSi₂ 소결체의 활성화 에너지는 $\ln \rho = f(1/T)$ 로부터 0.89eV로 환산되었으며, 시료는 n-type의 전도 특성을 나타내었다.

Hall 계수로부터 자유 캐리어 농도 $n=1/(qR_H)$ 은 구할 수 있으며, 여기서 q는 전자의 전하량, R_H는 Hall 계수이다. 78K에서 270K까지의 온도영역에서 HoSi₂ 소결체에서 Hall 효과로부터 캐리어는 전자

(electron)이고, 전자 농도의 온도의존성은 그림 6와 같이 270K 온도에서 $5.45 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 정도이었으며, 78K에서는 $6.53 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 로 주위 온도가 상승함에 따라 전자의 농도는 증가하였으며, 비선형적인 온도 의존성을 보였다. 이와 같은 온도의 영향은 온도의 상승에 따른 축퇴반도체(degenerate semiconductor) 내의 높은 캐리어 밀도 때문으로 생각된다[6].

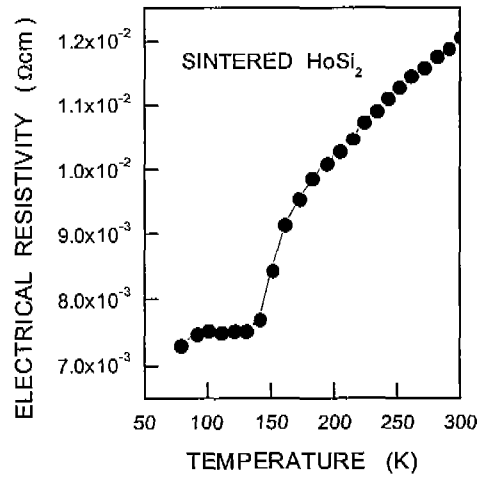


그림 5. HoSi₂ 소결체의 전기저항의 온도의존성.
Fig. 5. Temperature dependence of resistivity of sintered HoSi₂.

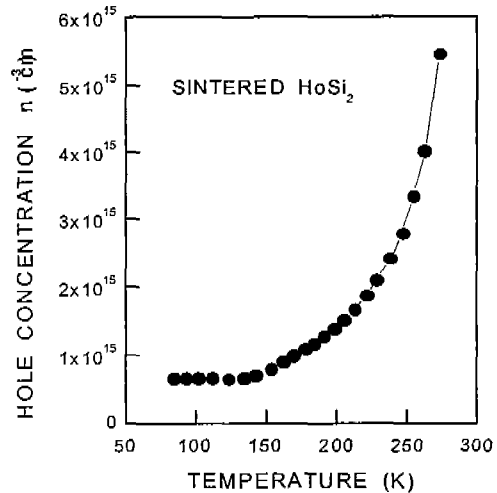


그림 6. HoSi₂ 소결체의 캐리어 농도의 온도의존성.
Fig. 6. Temperature dependence of carrier concentration of sintered HoSi₂.

78K에서 270K 온도영역에서 측정된 Hall 이동도 μ 의 온도의존성은 그림 7과 같이 250K에서 $1.8 \times 10^1 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 이었고, 주위온도가 감소하면 캐리어 이동도 μ 는 증가하여 78K에서 $6.9 \times 10^1 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 로 주어졌고, 최대 값은 120K에서 나타났다. HoSi_2 소결체에서 캐리어 이동도는 $\mu \propto T^{-3/2}$ 관계[7]를 만족하고 있으며, 이는 이온화 불순물의 영향에 의하여 나타내어진다.

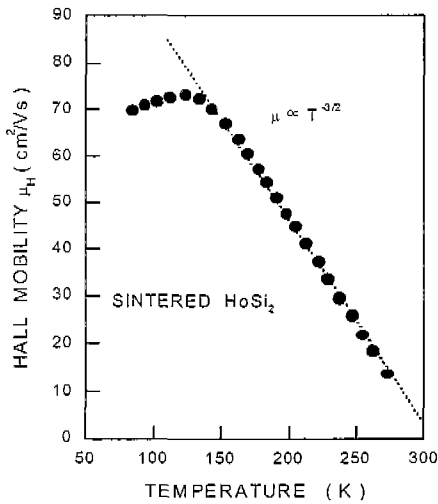


그림 7. HoSi_2 소결체의 Hall 이동도의 온도의존성.
 Fig. 7. Temperature dependence of Hall mobility of sintered HoSi_2 .

4. 결론

HoSi_2 소결체를 제작하여 전기적인 특성을 분석한 결과 소결된 시편은 n-type의 전도도 특성을 나타냈으며, 사방정계(orthorhombic) 구조를 임을 확인하였다. X-선회절로부터 구한 HoSi_2 소결체의 격자상수는 $a = 9.8545 \text{ \AA}$, $b = 7.7935 \text{ \AA}$, $c = 7.8071 \text{ \AA}$ 이었고, Hall 측정시 Ohmic 접촉저항 값은 9.31Ω 정도로 낮은 Ohmic 접촉저항 값을 나타내었다. 한편, 전기저항은 300K에서 $1.2 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ 이었으며, 전자의 농도는 78K에서 $6.53 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 로 주위 온도가 상승함에 따라 증가하였다. 한편, 캐리어의 이동도는 78K에서 $6.9 \times 10^1 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 정도로 주위 온도가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] S. P. Murarka, "Silicides for VLSI Applications", Academic, New York, 1983.
- [2] V. N. Eremenko, V. E. Listovnichii, S. P. Luzan, Y. I. Buyanov, and P. S. Martsenyuk, "Phase diagram of the holmium-silicon binary system and physical properties of holmium silicides up to 1050°C", Journal of Alloys and compounds, 219, pp. 181-184, 1995.
- [3] S. V. Meschel, and O. J. Kleppa, "Standard enthalpies of formation of some carbide, silicides, germanides and borides of holmium by high temperature direct synthesis calorimetry", Journal of Alloys and compounds, 247, pp. 52-56, 1995.
- [4] T. B. Massalski, H. Okamoto, P. R. Subramanian and L. Kacprzak, "Binary Alloy Phase Diagrams, ASM, Metals Park, OH", 1990.
- [5] G. Petö, G. L. Molnar, Z. E. Horváth, E. Zsoldos, N. Q. Khanh, J. Gyula, and J. Kansk, "Formation of epitaxial HoSi_2 Layer on Si(100)", Thin Solid Films, 318, pp.168-170, 1998.
- [6] 林基祚, "半導體工學", 東莞社, pp.76-79. 1985.
- [7] 橋口隆吉, "物質の電氣的性質", 朝倉書店. pp.25-31. 1967.