

스핀트로닉스 소재로 사용될 수 있는 HgCdTe의 스핀 분리(spin splitting)

고려대학교
한국과학기술연구원
인하대학교

이진서*, 홍진기, 이금원
안세영, 김진상, 신경호
이병찬

최근 세계적 주목을 받고 있는 spin FET[1] 소자의 구현은 강자성 물질에 의하여 반도체에 주입된 spin 편향된 전자가 반도체 계면에 유도된 전기장의 영향을 받아 spin-orbit interaction을 하는 mechanism(Rashbar effect)이 근간을 이루고 있다. 작은 band gap을 가지는 반도체(narrow gap 반도체)는 작은 유효질량의 전자에 의해서 이러한 Rashbar effect[2]를 크게할 수 있는 물질로서, spin FET 구현을 위한 강력한 후보이며, 요즘 한창 연구되고 있는 주제이기도 하다[3]. 한편, HgCdTe와 같은 narrow gap 반도체는 큰 Rashbar effect와 함께[4], g-factor 또한 커서[5], 외부자기장이 인가되었을 때, Zeeman energy에 의한 spin의 분리가 비교적 큰 반도체이다. 본 논문에서는 band gap이 120meV인 HgCdTe의 Zeeman 효과에 의한 스핀 분리(spin splitting)에 대하여 논하고자 한다.

실험에 사용된 HgCdTe 2차원 전자(2DEG)는 MOCVD로 성장되었고, 2K에서 전자농도가 $1.24 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$, 이동도는 $8.0 \text{ m}^2/\text{Vsec}$ 이며, Hall bar형 모양이다. 시료는 전형적인 전계효과트랜지스터(FET) 구조이며, p-type bulk 시료에 n-type도핑된 source과 drain을 형성하였고, 두께가 2000 \AA 인 Al_2O_3 위에 알루미늄(Al) 게이트를 형성하였다. 2DEG는 HgCdTe와 Al_2O_3 의 계면에 형성되며, 전자의 농도는 게이트 전압에 의해 조절된다.

그림 1은 2K에서 측정된 자기저항(R_{xx})과 홀저항(R_{xy})으로, Shubnikov-de Haas(SdH) oscillation과 양자홀 효과에 의한 plateau가 잘 보인다. 특히, 6 Tesla에서 filling factor가 1인데, 이는 자기장이 6 T 이상에서 모든 전자가 spin-up 상태로 분극 되었음을 나타낸다. 이는 HgCdTe의 Zeeman spin splitting이 매우 크다는 것을 의미하는 것으로, Zeeman 효과의 크기를 나타내는 g-factor를 정량적으로 조사하기 위하여, 인가 자기장의 각도를 변화시키면서 홀 저항을 측정하였다(그림 2). 각도(θ)가 37° 과 67° 에서 양자 홀 plateau가 사라짐을 알 수 있고, 이는 Landau와 Zeeman 준위의 상대적 크기에 의해 기인한 것이다[6]. 이로부터 얻은 g-factor는 150이었고, 자유전자와 GaAs의 g-factor가 각각 2와 0.4임을 고려할 때, HgCdTe의 Zeeman효과에 의한 스핀 분리가 타 물질에 비해 월등함을 나타낸다. 이러한 HgCdTe의 큰 스핀 분리는 스핀트로닉스 소자에 직접 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 예를 들면 효과적인 국소 자기장을 HgCdTe에 형성하여 spin-up과 spin-down 접합을 이루는 전류 구동형 트랜지스터에[7] 적용할 수 있다.

※참고문헌

- [1] S. Datta and B. Das, Appl. Phys. Lett. **56**, 665 (1990)
- [2] Y. A. Bychokov and E. I. Rashbar, J. Phys. C **17**, 6039(1984)
- [3] Ikai Lo, et al., Phys. Rev B. **65**, 161306 (2002) and refs. therein
- [4] G. M. Minkov, et al., JETP **85**, 292(1997), W. Wollrab, et al., Semicond. Sci. Technol., **4**, 491(1989)
- [5] M. H. Weiler, in *Semiconductors and semimetals*, edited by R. K. Willardson and A. C. Beer (Academic Press, New York, 1981), Vol. 16, p.119.
- [6] X. C. Zhang, et al, Phys Rev. B **69**, 115340(2004)
- [7] M. E. Flatte, Appl. Phys. Lett. **78**, 1273(2001)

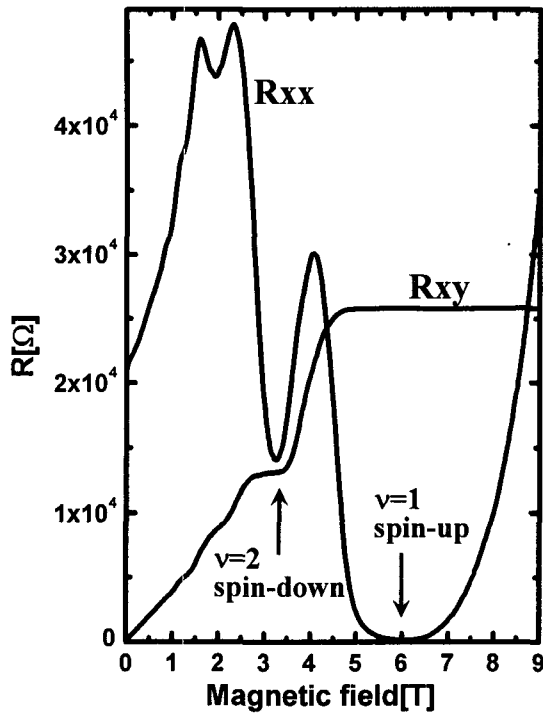


그림 1. HgCdTe 2DEG에 수직으로 인가된 자기장에 대한 자기저항(R_{xx})과 홀저항(R_{xy}). ν 은 운반자농도를 Landau degeneracy(e/h) 나누어준 filling factor.

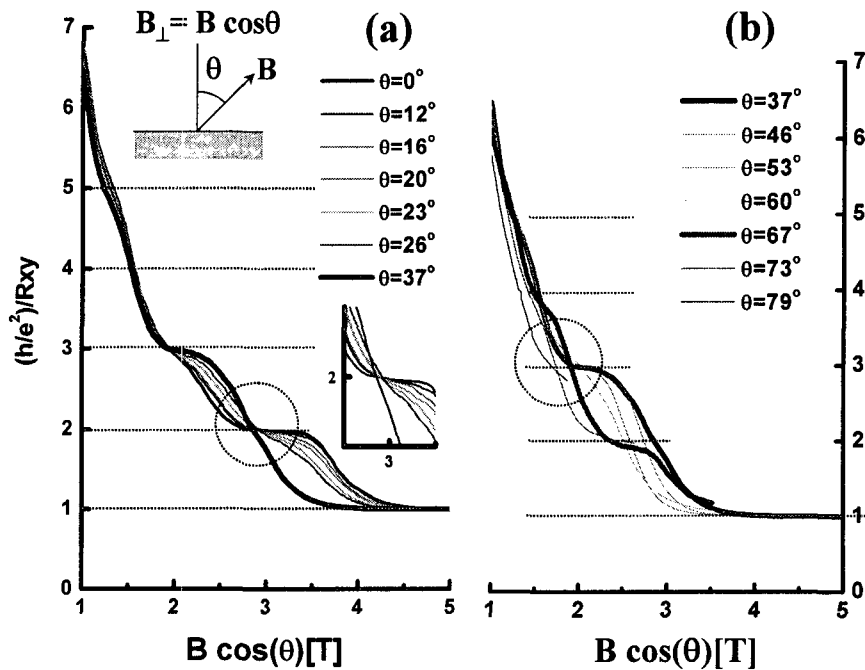


그림 2. 2K에서 자기장의 각도(θ)에 따른 HgCdTe 2DEG의 normalized Hall conductance($h/e^2/R_{xy}$). 37° 에서는 $h/e^2/R_{xy}=2$, 67° 에서는 $h/e^2/R_{xy}=3$ 인 plateau가 사라진다. 이로부터 HgCdTe 2DEG의 g -factor가 150임을 알 수 있다