

HgCdTe의 스핀 분리와 자기저항의 이력현상

고려대학교
한국과학기술연구원
인하대학교
서울대학교

홍진기*, 이진서, 이궁원
안세영, 김진상, 신경호
이병찬
김태석

HgCdTe는 큰 Rashba 효과와 함께[1], g-factor 또한 커서[2], 자기장과 전계에 대하여 큰 스핀 분리를 보이며, 이러한 HgCdTe의 스핀 특성은 spin FET를 비롯한 효과적인 스핀트로닉스 소자용 재료로 기대된다. 본 연구에서는 HgCdTe의 Zeeman 효과에 의한 스핀 분리와 강자성체로의 상전이로 예상되는 자기저항의 이력현상에 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.

Zeeman 효과의 크기를 나타내는 g-factor를 정량적으로 조사하기 위하여, 인가 자기장의 각도를 변화시키면서 홀 저항을 측정하였다(그림 1). 각도(θ)가 37° 과 67° 에서 양자 홀 plateau가 사라짐을 알 수 있고, 이는 Landau와 Zeeman 준위의 상대적 크기에 의해 기인한 것이다[3]. 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[4] 적용할 수 있다.

한편, HgCdTe 2DEG가 저온, 저 운반자농도(low carrier density)에서 자기저항의 이력곡선을 나타냄을 관측했다. 그림 2에서 보이듯이 측정된 곡선은 자기장의 sweep 방향에 따라 이력현상을 나타내며, 이러한 이력현상은 자기장의 sweep rate 증가할 수록 커진다.

이 이력현상은 그동안 학계에 논란이 되고 있는 비자성에서 강자성으로의 상변이 현상과 관련하여, 주목할 만한 결과이다. 반도체를 포함한 비자성물질의 물질강자성 상(Ferromagnetic phase)에 대한 연구는 이론적으로 주장되었고, 그를 입증하기 위한 몇 실험적 노력이 있었으나, 확실하게 공인된 증거는 아직 없는 상태이다. 본 연구 결과는 이러한 논의에 주요하게 기여할 것으로 기대된다.

※참고문헌

- [1] G. M. Minkov, et al., JETP 85, 292(1997), W. Wollrab, et al., Semicond. Sci. Technol., 4, 491(1989)
- [2] 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.
- [3] X. C. Zhang, et al, Phys Rev. B 69, 115340(2004)
- [4] M. E. Flatte, Appl. Phys. Lett. 78, 1273(2001)

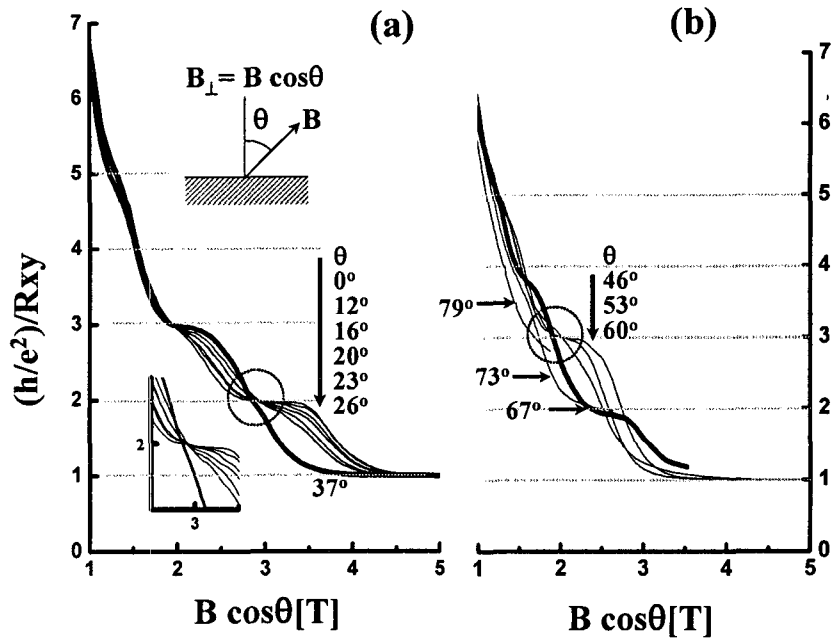


그림 1. 그림 1. 2K에서 자기장의 각도(θ)에 따른 HgCdTe 2DEG의 normalized Hall conductance($h/e^2/R_{xy}$). 37° 에서는 $h/e^2/R_{xy}=2$, 67° 에서는 $h/e^2/R_{xy}=3$ 인 plateau가 사라진다. 이로부터 HgCdTe 2DEG의 g -factor가 150임을 알 수 있다.

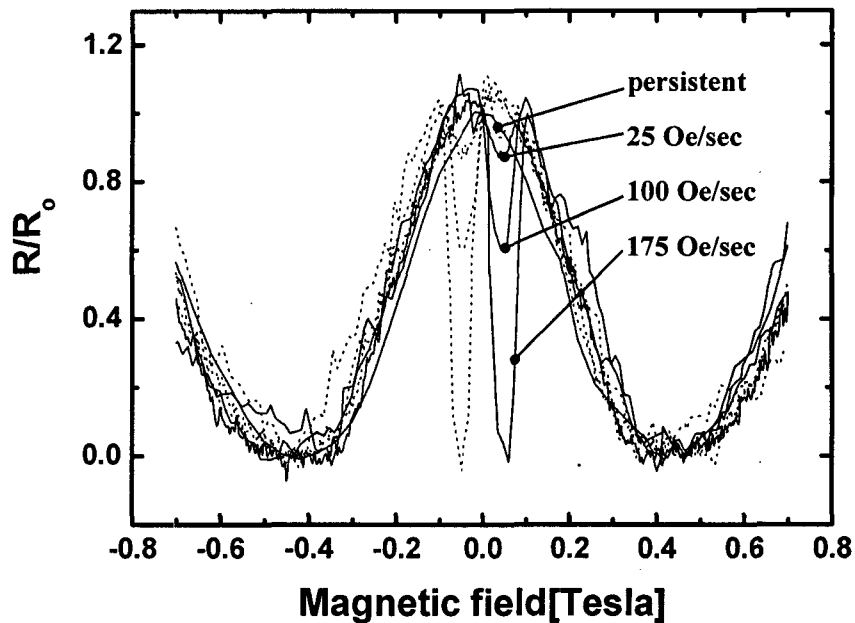


그림 2. HgCdTe 자기저항 이력곡선($T=2K$). 자기장의 sweep rate가 증가함에 따라 새로운 상(phase)에 의한 것이라 예상되는 peak가 나타나며, 이 peak는 강자성 계에서 볼 수 있는 hysteresis 현상을 보인다.