

스핀트로닉스 소재로 사용될 수 있는 HgCdTe의 물리적 성질 : Rashbar effect 와 Zeeman spin splitting

고려대학교
한국과학기술연구원
인하대학교

홍진기*, 이진서, 이궁원
안세영, 이제형, 김진상
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 Rashbar effect와 Zeeman spin splitting, 그리고, 전자의 spin polarization에 대하여 논하고자 한다.

Rashbar effect에 의해 분리된 spin의 방향은 시료의 면내에서 시계방향 또는 그 반대 방향이다. 그러나, 자기장이 시료의 면에 수직으로 인가되었을 경우, Zeeman energy에 의한 spin의 정렬은 시료면에 연직 상방 또는 하방의 방향으로 spin이 분리된다. 따라서 HgCdTe의 경우 저 자기장 영역에서는 Rashbar효과가 우세하여 spin이 시료 면내에서 정렬할 것이고, 고자기장영역에서는 Zeeman energy가 우세하여 spin이 면에 수직인 방향으로 정렬하려는 성향이 예상된다.

실험에 사용된 n-type HgCdTe는 MOCVD로 성장되었고, 1.4K에서 전자농도가 $1.88 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$, 이동도는 $13.3 \text{ m}^2/\text{Vsec}$ 이며, van der Pauw 형 모양이다. 시료의 표면은 전자가 적층(accumulation)되어 2차원 전자(2DEG)를 형성하였고, 0.5 Tesla이상의 자기장에서 Bulk(시료내의 3DEG)는 quantum limit 상태여서 Shubnikov-de Haas(SdH) oscillation에 기여하는 전자는 오직 계면 적층의 2DEG에 기인한다. Fig. 1은 자기장이 시료에 수직할 때, SdH효과(R_{xx})와 quantum Hall effect(R_{xy})를 보인다. 약 5 Tesla이상의 영역에선 filling factor(ν)가 1개씩 변하는 전형적인 Zeeman splitting영역이다. 한편, 그 이하의 자기장 영역에선 맥놀이(beat)적인 oscillation과 함께 filling factor가 짝수 또는 홀수로 변하는 것을 볼 수 있으며, 이는 Rashbar effect에 의한 spin splitting에 기인 한 것이다[3]. 즉, 약 5 Tesla이하(Rashbar 영역)에서는 전자의 spin방향이 면에 평행하고, 그 이상의 자기장(Zeeman영역)에서는 면에 수직하게 spin을 정렬하려는 Zeeman effect 때문에 이러한 면내 spin 정렬이 깨지게 된다. 이러한 자기장에 따른 spin 정렬의 변화는 자기장의 방향을 바꾸면서 SdH를 측정한 Fig. 2에서 더욱 확실히 알 수 있다. Zeeman 영역에서는 짝수의 filling factor에 해당하는 R_{xx} 의 최소값이 50° 에서 없어졌으나, Rashbar영역의 R_{xx} 최소값은 각도에 무관하다. (자세한 mechanism은 참고문헌[6]참조)

SdH 측정으로부터 Rashbar spin splitting을 측정한 실험은 다수 보고되어 있으나[3], Zeeman energy에 의한 spin 방향의 변화도 함께 측정한 것은 본 실험이 최초로 사료된다. 이는 HgCdTe의 큰 g-factor (또는 큰 Zeeman energy)에 기인한 것이며, HgCdTe로 FET구조를 만들어 gate voltage에 의해 Rashbar effect를 조정하고, 외부 자기장에 의하여 Zeeman energy를 조절한다면 효과적인 스핀트로닉스 소자를 만들 수 있을 것이다.

※ 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] S. J. Papadakis, et al., Phys. Rev B. **59**, R12743(1999)

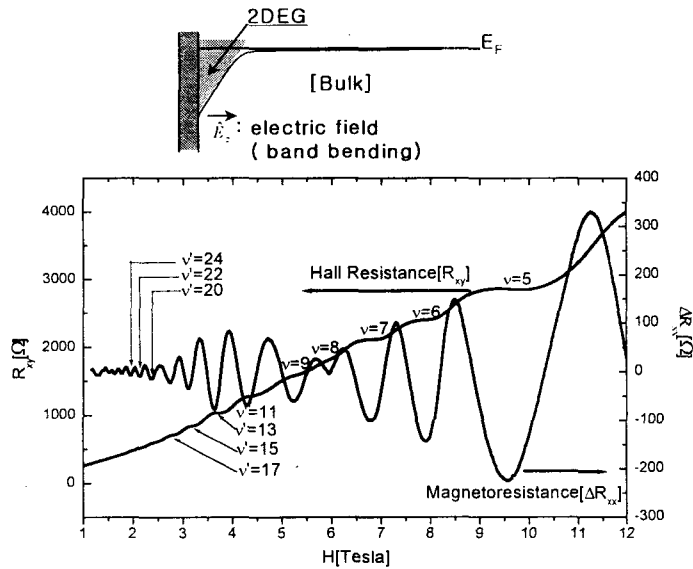


Fig.1 SdH oscillation and quantum Hall effect of 2DEG in HgCdTe interface

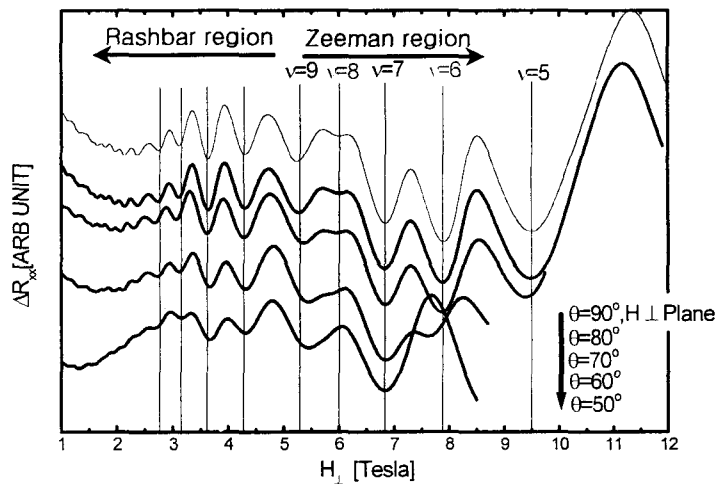


Fig.2 Angular dependence of SdH oscillation. H_{\perp} is perpendicular component of total magnetic field