

Optical property of spin Diode

Korea Institute of Science and Technology J. H. Lee*, K-I Jun, Kyung-Ho Shin

Korea University

S. Y. Park, K. Rhie

Inha University

B.C. Lee

1. 서론

자성체, 반도체의 계면을 조절하여 스핀 산란을 없애는 방법으로 Al_2O_3 를 이용하여, 스핀의 정보를 잃지 않고 반도체에 주입할 수 있는 방법을 연구하였다. 반도체에 원형 편광된 laser를 조사하여 내부에서 여기한 전자 spin이 자성체 내부로 흘러가면서 일어나는 현상을 관측한 것이다[1], [2]. 일반적인 반도체와 금속간의 접합을 구성한 schottky-barrier 특성이 아닌 접합 사이에 인위적으로 barrier를 형성하여 그 특성을 관측하였다. n-type 과 p-type의 시료를 제작하여 I-V 특성을 온도에 따라 I-V 특성 측정하였다. 반도체의 경우 금속과는 달리 전자 spin이 유지된 채로 진행하고, 특히 GaAs의 경우 전자 spin이 저온에서 그 정보를 유지한 채로 4 μm 이상을 진행한다고 한다[3].

2. 실험방법

시료의 제작은 2inch, 6gun sputter 장비를 사용하여, base pressure를 5×10^{-8} Torr이하로 하여 증착하였고, 반도체/부도체/금속의 구조를 가진다. 기본적인 시료의 모양은 TMR시료의 형태를 가지며, CPP로 측정되었다. 접합의 크기는 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 로 photo lithography를 사용하여 제작하였다. 기판은 n-type GaAs를 사용하여 GaAs/ $\text{Al}_2\text{O}_3(16)$ /CoFe(60)/Ta(50)으로 증착하였다. 이 접합에 광학 실험을 하기 위해서 단자층은 ITO를 사용하여 투명 전극으로 증착하였다. 이 실험에 사용된 laser는 He-Ne laser로 파장은 790nm이다.

Fig.1 에는 spin dependent current를 측정하기 위한 set-up을 보여준다. Chopper를 이용하여 빛을 차단하고 통과시켜 Lock-in amp를 사용하여 그 신호의 차이를 읽어 오로지 광전효과에 따른 신호만을 추출한다.

$\lambda/4$ plate를 이용하여 원편광 방향을 바꾸어 가며 다이오드에 걸린 전압을 키워나간다. 이 때 측정된 n-type GaAs/ Al_2O_3 /CoFe 다이오드의 순수한 광전신호를 Fig.2 에 나타냈다.이 방법의 장점은 dark current의 크기와 관계없이 photocurrent의 크기만을 추출해 낼 수 있다는 것이다

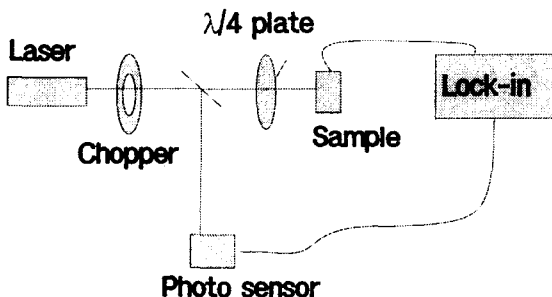


Fig. 1 Schematic configuration of the photon excitation experiment.

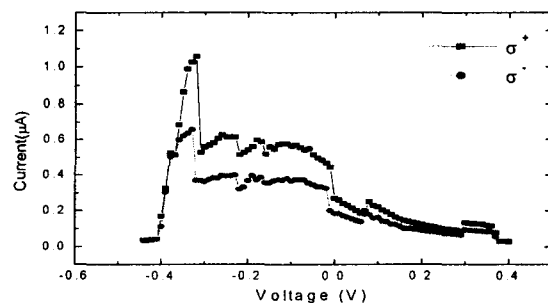


Fig. 2 Bias dependence of σ^+ and σ^- .

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3과 Fig. 4는 p-type Si/Al₂O₃/CoFe, n-type GaAs/Al₂O₃/CoFe 다이오드의 I-V 특성곡선의 온도에 따른 변화를 나타내었다. 저온일수록 Threshold voltage가 커지고, 아주 급격한 순방향특성을 나타낸다. 이는 저온일수록 열전자 (hot electron)에 의한 전류가 줄어들고 터널링에 의한 전류특성이 증가하기 때문이다. 또한 역방향전류가 새어 흐르는 breakdown 전압 또한 낮은 온도에서 더욱 큰 값을 갖는다. 이 또한 낮은 온도에서 열전자에 의한 전류가 줄어들기 때문이다. 순방향과 역방향은 반도체가 n 또는 p type에 따라 결정되어지고, 바이어스는 모두 금속에 양극, 반도체에 음극을 걸어 측정하였다.

GaAs에 광학적인 편광된 빛을 수직하게 입사할 경우 반전시킬 수 있는 전자의 스핀방향은 빛의 진행방향이다. 그런데, 자성체의 자화방향은 시료의 면방향이어서 100% 스핀 편광된 자성체(half metal)라 할 지라도 원편광된 빛이 느끼는 spin 은 up과 down이 반반이다. 자화방향으로 원편광된 빛을 입사하면 spin polarization을 빛이 있는 그대로 느낄 수 있으나, 이 경우 빛을 흡수할 수 없어 광전효과를 측정할 수 없다. 따라서 빛을 흡수 할 수 있으면서 빛이 스핀을 느낄수 있는 조건을 맞추기 위해서, 빛을 면에 45°방향으로 입사하여 광전효과를 측정하였다. 자성체의 spin polarization이 p일 때, 광전류 polarization p_{photo} 의 각 θ

$$p_{photo} \equiv \frac{I(\sigma^+) - I(\sigma^-)}{I(\sigma^+) + I(\sigma^-)} = p \cos \theta \text{ 으로 정리할 수 있다.}$$

Fig. 5.은 GaAs/Al₂O₃/CoFe 다이오드를 사용하여 $\theta=45^\circ$ 인 경우 각 바이어스 전압에 따른 p_{photo} 의 측정치이다. 대체적으로 bias 전압이 0.4V 이내에서 $p_{photo}=20\%$ 정도의 값을 보이고 있다. 이를 바탕으로하여 spin polarization을 역산하여 보면 $p=0.28$ 정도의 값을 갖게된다.

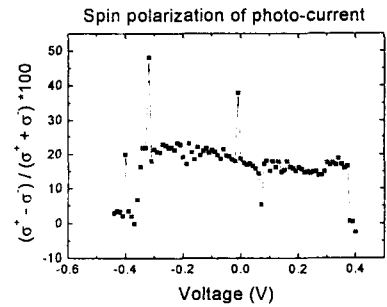
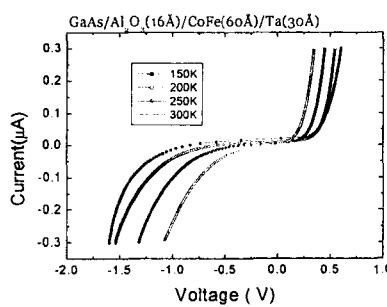
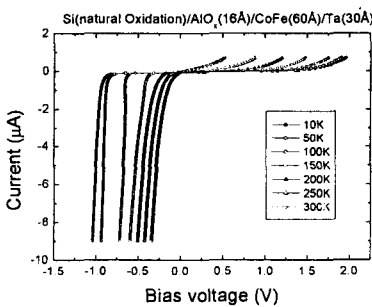


Fig. 3. Temperature dependence of p-type(Si) semiconductor

Fig. 4. Temperature dependence of n-type(GaAs) semiconductor

Fig. 5. Spin polarization of photo-current

4. 결론

Chopper를 이용하여 빛을 차단하고 통과시켜 Lock-in amp를 사용하여 그 신호의 차이를 읽어 오로지 광전효과에 따른 신호만을 추출해 냈고, 그 분석을 통해 p_{photo} 값을 알아낼수 있다. 이를 바탕으로하여 spin polarization을 역산할수 있으므로 p 값을 측정할수 있는 도구로 사용될수 있다. $p=0.28$ 정도의 값을 갖게되는데, 저온에서 $p=0.4$ 정도이며, 시료가 열처리되지 않은 것, 그리고 굴절률 등의 문제점을 감안하여 본다면 상당히 근접한 값을 알려주고 있다.

5.참고문헌

[1] A. Hirohata, Y. B. Xu, C. M. Guertler, and J. A. C. Bland, J. Appl. Phys., **85**, 5804(1999)
 [2] A. Hirohata, Y. B. Xu, C. M. Guertler, and J. A. C. Bland, Phys. Rev. B. **63** 104425 (2001)
 [3] D. Hagele, M. Oestreich, and W. W. Ruhle, N. Nestle, K. Eberl, Appl. Phys. Lett. **73** 1580 (1998).