

이황화 레늄과 황화 게르마늄 광 트랜지스터에서의 포토게이팅 효과에 따른 광 반응도와 광 반응 속도에 관한 연구

문영선, 김도윤, 김규태*

고려대학교

sjoyfuls@webmail.korea.ac.kr, *gtkim@korea.ac.kr

A Study on the Photoresponsivity and Photo-response speed of ReS_2 and GeS Phototransistors

Young-Sun Moon, Do Yoon Kim, Gyu-Tae Kim*

Korea Univ.

요약

광통신을 하기 위해선 보다 빠른 속도와 좋은 광반응도를 보이는 광 검출기가 필수적이다. 최근 높은 흡수계수를 가져 높은 광반응도를 보이는 것으로 알려진 2 차원 층상구조 물질을 활용한 광 검출기의 개발이 활발하다. 하지만 높은 광반응도를 보이는 반면 빠른 반응 속도에 대한 연구는 충분치 않기 때문에 이에 대한 고찰도 필요한 실정이다. 본 논문에서는 2 차원 층상구조 물질의 하나인 이황화 레늄과 황화 게르마늄 광 트랜지스터에서 높은 광반응도를 갖게 하는 메커니즘인 포토게이팅 효과와 그에 따른 반응 속도 사이의 연관성에 대해 연구하였다.

I. 서 론

반데르 벌스 층상 구조를 갖는 2 차원 물질 중에서도 비등방성 구조를 갖는 것으로 알려진 이황화 레늄과 황화 게르마늄은 빛의 편광을 측정할 수 있다는 장점이 있다.[1] 또한 트랜지스터로 제작하여 광 반응도를 측정했을 때 10^3 A/W 이상의 높은 광 반응을 보여 광 검출기로서의 그 응용이 기대되고 있는 상황이다. 이황화 레늄 광 트랜지스터와 황화 게르마늄 광 트랜지스터에서 광 효율이 높게 나타나는 이유는 광 흡수 계수가 높기 때문도 있지만 포토게이팅 효과와 광전도 이득에 의한 것으로 보인다.

최근 포토게이팅 효과와 관련해 많은 연구가 진행되고 있다.[2] 이는 게이트 옥사이드의 전하 트랩에 의해 생기는 부수적인 효과로 나타나는 경우가 많지만 결과적으로 광 반응성을 높이므로 잘 설계해 활용할 경우 단일 광자를 검출할 수 있는 소자의 광 검출 메커니즘으로 작용할 수도 있다.[3]

하지만 포토게이팅 효과는 광 반응성이 좋은 만큼 광 반응 속도는 느리게 나타나는 것으로 알려져 있다. 본 논문에선 현재 혼용된 개념으로 많이 사용되고 있는 포토게이팅 효과와 광전도 이득 효과를 이황화 레늄 광 트랜지스터와 황화 게르마늄 광 트랜지스터에서 살펴보고 각 효과와 관련하여 광 반응 속도가 각 소자에서 어떻게 나타나는지에 대해 살펴보았다.

II. 본론

그림 1은 각 물질의 소자에서 광전류를 보여주는 그래프이다. 그래프에서 보이듯 이황화 레늄(ReS_2) 광

트랜지스터에서는 광전하에 의해 게이트 전압을 더 가한 것과 같은 효과인 포토게이팅 효과가 나타나 문턱 전압이 이동하는 것을 확인할 수 있다. 반면 황화 게르마늄(GeS) 광 트랜지스터에선 포토게이팅 효과도 나타나지만 그것만으로는 설명될 수 없는 광전류가 추가적으로 나타나며 이는 황화 게르마늄 광 트랜지스터에서의 전자와 정공의 이동도 차이에 의한 광전도 이득에 의한 것임을 짐작할 수 있다.

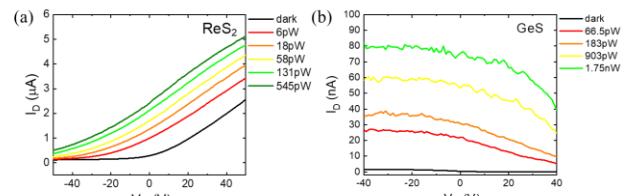


그림 1 어두운 상태와 빛을 준 상태에서의 각 물질의 전압 전달 함수: (a) 이황화 레늄 광 트랜지스터, (b) 황화 게르마늄 광 트랜지스터

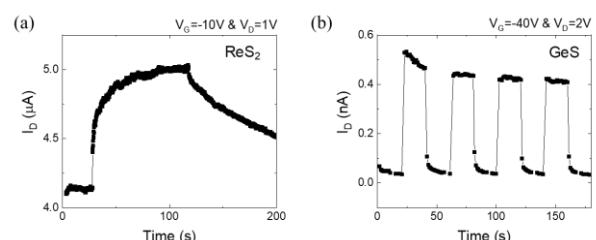


그림 2 빛의 켜짐과 꺼짐에 따른 시간에 대한 드레인 전류 함수: (a) 이황화 레늄 광 트랜지스터, (b) 황화 게르마늄 광 트랜지스터

반면 그림 2 에서는 두 물질의 광 트랜지스터에서의 광 반응 속도에 대해 확인할 수 있는데 이황화 레늄 광 트랜지스터에서는 상승 시간과 하강 시간이 황화 게르마늄 광 트랜지스터에서 즉각적인 광 반응이 일어나는 것과는 차이나게 느린 것을 확인할 수 있다. 이는 포토게이팅 효과가 이황화 레늄 광 트랜지스터에서 주된 광전류 발생 메커니즘으로 작용하여 트랩의 느린 반응이 느린 광 반응을 야기했기 때문으로 해석되어진다.[4] 그에 비해 황화 게르마늄에선 광전도 이득에 의한 광 반응이 주된 메커니즘으로 작용하며 비교적 빠른 광 속도를 지님을 확인할 수 있다.

좀 더 빠른 광 반응 속도를 갖는 광 검출기 제작을 위해선 높은 광반응도를 보임에도 불구하고 포토게이팅 효과를 주된 메커니즘으로 갖는 광 검출기 제작을 지양해야함을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 실제로 황화 게르마늄에서는 $8 \times 10^3 \text{ A/W}$ 정도의 광 반응도를 보인데에 비해 이황화 레늄 광 트랜지스터에서는 $3 \times 10^5 \text{ A/W}$ 의 더 높은 광 반응도를 보였었다.

III. 결론

본논문에서는 2 차원 층상구조를 갖는 물질 중 하나인 이황화 레늄과 황화 게르마늄 광 트랜지스터에서의 광 검출기로서의 성능 지표 중 하나인 광 반응속도에 대해 탐구하였다. 광 반응도를 높이는 요소로 평가되고 있는 포토게이팅 효과를 주된 광전류 발생 메커니즘으로 사용하고 있는 이황화 레늄 광 트랜지스터에서보다 광전도 이득이 주된 광반응도를 높이는 요인으로 사용되고 있는 황화 게르마늄 광 트랜지스터에서 광에 대한 반응 속도가 더 빠르다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 포토게이팅 효과에서는 트랩에 의한 게이팅 효과가 나타나며 이것이 느린 속도를 갖는 반응이기 때문으로 유추되었다. 광 반응도를 높이는 것도 중요하지만 광통신에서는 광 반응 속도 또한 중요시되기에 포토게이팅 효과를 주된 광 전류 발생 메커니즘으로 갖는 광 검출기의 제작이 지양되어야 함을 보여주었다.

ACKNOWLEDGMENT

"This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2020-2015-0-00385) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Planning & Evaluation)"

참 고 문 헌

- [1] Tan, D.Z., et al., Polarization-sensitive and broadband germanium sulfide photodetectors with excellent high-temperature performance. *Nanoscale*, 2017. 9(34): p. 12425-12431.
- [2] Fang, H. and W. Hu, Photogating in low dimensional photodetectors. *Advanced Science*, 2017. 4(12): p. 1700323.
- [3] Roy, K., et al., Number-Resolved Single-Photon Detection with Ultralow Noise van der Waals Hybrid. *Advanced Materials*, 2018. 30(2): p. 1704412.
- [4] Island, J.O., et al., Gate controlled photocurrent generation mechanisms in high-gain In2Se3 phototransistors. *Nano letters*, 2015. 15(12): p. 7853-7858.