

InAs 양자점을 이용한 테라헤르츠 광원

THz Source with InAs Quantum Dots on a GaAs

박홍규, 김정희, 정은아, 한해욱, 최정원*, 이정일*, 송원동*
 포항공과대학교 전자전기공학과, *한국과학기술원 나노소자센터
 sanmaru@postech.ac.kr

테라헤르츠파는 0.1 ~ 10 THz 정도의 주파수를 가진 전자파로서 빛과 전자기파의 특징을 동시에 갖고 있으며 현재까지 테라헤르츠 대역에 대한 연구가 기초학문적인 성격이 강하였으나 최근에는 응용분야로의 연구도 활발하게 진행되고 있다. 테라헤르츠 광원은 이러한 테라헤르츠 연구에 수행하는데 있어서 반드시 필요한 것이다. 펄스형태의 테라헤르츠 광원으로는 광정류, 광전도 안테나 등이 있으며 이러한 테라헤르츠 광원들의 효율과 출력을 향상시키기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 테라헤르츠 광원의 하나로 반도체 기판에 반도체의 밴드갭보다 큰 에너지를 갖는 펄스 레이저를 입사시키면 테라헤르츠파가 발생된다⁽¹⁾. 반도체 표면에 레이저가 입사되면 전자와 정공이 생성되고 이동도가 다른 두 운반자의 확산에 의해 반도체 내부에 전계가 발생하는 Photo-Dember 효과와 반도체 표면에 존재하는 표면 전계에 의한 운반자의 이동에 의해서 테라헤르츠파가 발생된다. 따라서 반도체에 생성되는 전자와 정공의 이동특성을 조절할 수 있다면 반도체에서 발생하는 테라헤르츠파의 효율과 출력을 증가시킬 수 있다. 본 논문에서는 반도체 표면에 성장된 양자점이 테라헤르츠파 발생에 어떠한 영향을 미치는 지 실험한 결과에 대해서 발표한다.

실험에 사용된 시료는 MBE(Molecular Beam Epitaxy)를 사용하여 그림 1 (a)와 같이 SI-GaAs 기판 위에 120 nm의 GaAs 버퍼층을 기르고 단층 InAs 양자점을 성장시켰다. InAs 양자점은 지름이 45 nm, 높이가 7 nm, 밀도는 8.31010 cm^{-2} 를 갖는다. 테라헤르츠 발생 측정결과의 상대적 비교를 위해서 그림 1 (b)와 같이 동일한 MBE에서 성장된 InAs 양자점이 없는 GaAs 시료도 준비하였다.

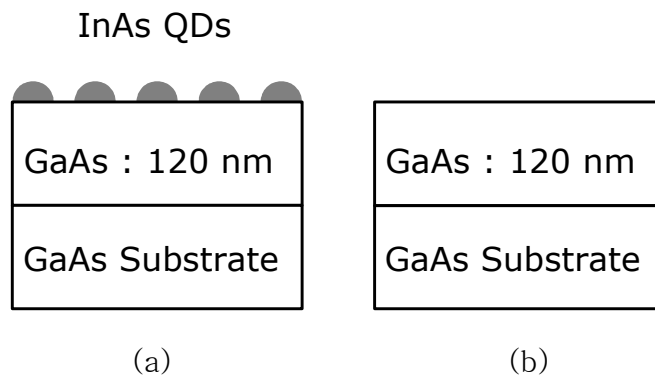


그림 1 테라헤르츠파 발생에 사용된 시료 구조

테라헤르츠 시영역 분광학과 동일한 실험장치를 사용하여 테라헤르츠 광원으로 각각의 시료를 사용하여 발생된 테라헤르츠 신호를 측정하였다. 100 fs의 펄스폭을 갖는 Ti:Sapphire 레이저를 45°의 입사각을 갖고 직경이 3mm 정도 되도록 시료에 입사시켰으며 발생된 테라헤르츠파는 5 μ m의 간극을 갖는 광전도 안테나를 이용하여 측정하였다.

그림 2는 각각의 시료에 대해서 발생된 테라헤르츠파를 측정한 결과이다. 실선은 GaAs위에 단층 InAs 양자점 구조를 성장시킨 시료에서 발생된 테라헤르츠 신호이고 점선은 GaAs 만이 성장시킨 시료에서 발생된 테라헤르츠 신호이다. 측정 결과를 보면 단층 InAs 양자점이 있는 경우가 양자점이 없는 GaAs에서 발생된 테라헤르츠파에 비해서 25% 정도 신호 크기가 증가되었다는 것을 알 수 있었다.

현재까지 정확한 테라헤르츠 신호 증가 원인은 밝혀지지 않았지만, GaAs의 표면에 양자점을 성장시키게 되면 표면 페르미 에너지 준위가 낮아지면서 표면에서의 에너지 밴드가 더욱 급격히 꺾여지는 것이 보고된 바 있다⁽²⁾. 반도체 표면에서 에너지 밴드가 휘어지면서 생기는 표면 전기장에 의해서 전자정공쌍이 가속되어서 테라헤르츠파가 발생되는데, 양자점이 존재하는 경우에 양자점이 없는 경우보다 에너지 밴드가 더욱 휘어지게 되므로 발생하는 테라헤르츠파가 증가하게 된다. 여기서 테라헤르츠 신호의 증가가 단층 InAs 양자점에 의한 것이라는 것은 주목할 만한 사실이다.

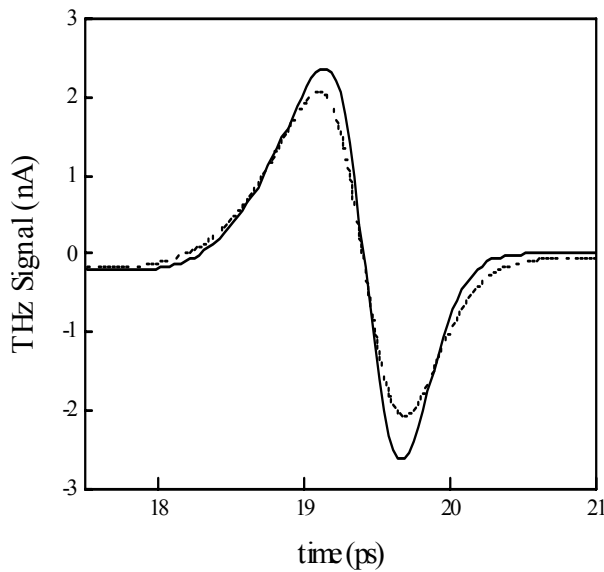


그림 2 QDs와 GaAs에서 발생된 테라헤르츠 신호 (실선 : QDs에서 발생된 신호, 점선 : GaAs에서 발생된 신호)

GaAs에 성장된 단층 InAs 양자점이 테라헤르츠파 발생과 어떠한 상관관계를 갖는지 실험을 수행하였으며 실험을 수행한 결과 단층 InAs 양자점이 존재하는 경우에는 양자점이 없는 경우보다 약 25% 정도 신호가 증가하는 것을 관찰하였다. 향후 지속적인 연구를 통하여 InAs 양자점과 발생된 테라헤르츠파와의 상관관계에 대한 보다 정확한 물리적으로 해석을 할 것이며 보다 향상된 테라헤르츠 광원의 제작이 가능할 것이다.

1. X.-C. Zhang & D.H. Auston, "Optoelectronic measurement of semi-conductor surfaces and interfaces with femtosecond optics", *J. Appl. Phys.*, vol. 71, no. 1, pp. 326-338, 1992
2. C. Walther, et al, "Modification of the Fermi-level pinning of GaAs surfaces through InAs quantum dots", *Phys. Rev. B*, vol. 60, no. 20, pp. R13962-R13965, 1999