

LT-GaAs에서 테라헤르쯔파 방출

조신호

신라대학교 광전자공학과

Terahertz Emission by LT-GaAs

Shinho Cho

Department of Photonics, Silla University

Abstract : We report on optically excited terahertz (THz) emission from low-temperature (LT) grown GaAs. We have used 70 fs titanium-sapphire laser pulses with wavelengths at 800 nm to generate THz radiation pulses. The LT-GaAs layers are grown on semi-insulating GaAs substrates with GaAs buffer layer by molecular beam epitaxy (MBE). The THz emission from the LT-GaAs surface is strong and does not show any significant variation in the strength of the THz emission over several different angles between the polarization of the excitation laser pulse and the crystallographic orientation of the LT-GaAs.

Key Words : THz, LT-GaAs, E-O Sampling

1. 서론

저온에서 성장된 GaAs (LT-GaAs)는 수 피코초 정도로 짧은 전하 운반자의 수명, 높은 다크 저항과 항복 전압을 갖는 우수한 전기적인 특성 때문에 광전기로 응용하기 위한 연구가 광범위하게 진행되고 있다 [1-2].

현재 극초단의 테라헤르쯔파를 발생시키기 위하여 널리 사용하고 있는 방법은 외부에서 바이어스 전압을 인가한 반도체 표면에 펄스 레이저의 근적외선 레이저 펄스를 조사하여 발생시키는 기술이다. 이러한 방법으로 방출된 테라헤르쯔 광원은 지난 십여년간 시간 영역 테라헤르쯔 분광학과 이미징을 실현해 왔으나, 여전히 THz 에미터의 저출력 때문에 비선형 분광학, 비파괴 검사와 의료 영상 분야로의 응용성이 상당히 제한되고 있다. 따라서, 고효율의 THz 광원 개발을 위한 신물질의 반도체 에미터 개발은 중요한 관심의 대상이 되고 있다.

본 연구에서는 LT-GaAs를 THz 에미터로 개발하고, 수 펨토초의 지속 시간을 갖는 티타늄-사파이어 (Ti:S) 레이저 펄스를 LT-GaAs 표면에 조사하여 THz 전자파의 발생과 검출을 수행하는 시간 영역 측정 결과를 제시한다.

2. 실험

LT-GaAs 시료는 반절연 GaAs 기판 위에 분자선 에피성장법 (MBE)을 사용하여 성장되었다. 먼저, 기판을 챔버 내에서 장입한 다음에, As 분위기에서 600°C로 20분 동안 가열하여 기판 표면에 존재하는 산화막을 제거하였다. 그 후, 증착 온도 570°C에서 두께 300 nm의 GaAs 버퍼층을 기판 위에 증착한 다음에, 증착 온도를 250°C로 낮춘 상태에서 각각 300 nm와 900 nm의 두께를 갖는 LT-GaAs 층을 성장시켰다. 이때 성장률은 0.3 nm/sec 이었다.

LT-GaAs의 THz 방출은 반사형 pump-probe 방법을 사용하여 수행하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 실험

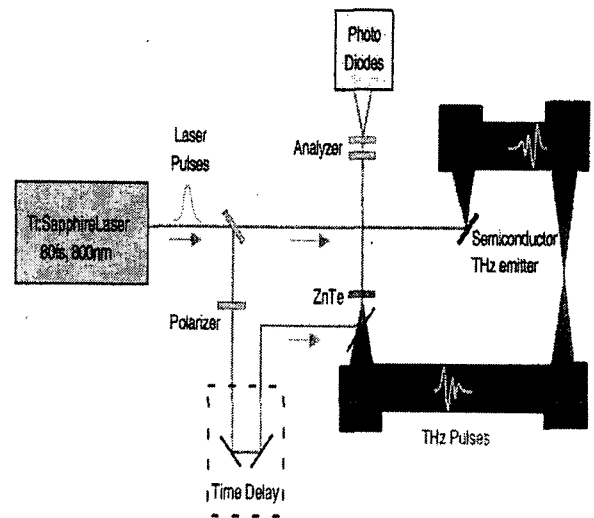


그림 1. 실험 장치도.

장치도를 도식적으로 나타낸 것이다. 파장 800 nm와 폭 70 fs를 갖는 Ti:S 레이저 펄스를 LT-GaAs의 표면에 직접 조사(照射) 하였다. 시료를 최대한 여기시키는 레이저의 파워는 700 mW 이었고, 레이저 펄스의 반복률은 82 MHz 이었다. 레이저 빔은 펌프 (pump) 빔과 프로브 (probe) 빔으로 분리시켰으며, 두 빔의 파워비는 95% : 5% 이었다. 펌프 빔을 초점거리 5 cm를 갖는 볼록 렌즈를 통과시키고 집속하여 입사각 45°로 시료 표면에 입사시켰다. 시료 표면에서 프레넬 손실을 최소화하기 위하여 펌프 빔의 편광 방향을 입사빔의 평면과 평행하게 하였다. 시료에서 방출되는 THz 복사선은 1 nm 두께를 갖는 <110> ZnTe 결정을 사용하는 전기-광학 샘플링 (electro-optic sampling) 방법으로 검출하였다. ZnTe 결정은 높은 비선형 포켈 (Pockels) 계수를 갖고 있기 때문에, THz 전기 (electric field)에 대한

프로브 빔의 편광 상태를 수정할 수 있다. 이러한 THz 전계는 레이저 펄스 시간 크기에서 준상태 (quasi-state) 전계로 간주할 수 있다. 전기-광학 샘플링 기술은 전계에 선형적인 반응을 하며, 전계의 극성에 매우 민감하다.

3. 결과 및 검토

그림 2는 광학적으로 여기된 LT-GaAs 시료에서 방출된 THz 신호를 방위각의 함수로 나타낸 것이다. 여기서 각도는 펌프 빔의 편광 방향과 시료의 결정학적 방향 사이의 각을 의미한다. 두 시료의 두께에 관계없이 동일한 강도를 갖는 THz 신호가 검출되었다. 이 결과는 InN 표면에서 THz 신호가 방출될 때의 실험 결과와 동일하였다 [3]. 일반적으로, 바이어스 전압을 인가하지 않은 반도체를 광학적으로 여기시켜서 THz 복사선을 발생시키는 원리는 두 가지로 알려져 있다: (1) 밴드갭 양단의 전하 운반자를 여기시키고 그 전하 운반자를 표면 공핍 혹은 축적 전계에서 가속시킴으로써 THz 복사선이 발생된다. 이 경우에, 여기시키는 레이저 빔의 광자 에너지는 반도체의 밴드갭보다 반드시 큰 값을 가져야 한다. (2) 다른 원리는 입사하는 Ti:S 레이저 펄스의 광학 정류 (optical rectification) 현상 때문이다. 광학 정류에 의한 경우에, 방출되는 THz 신호의 크기는 여기 레이저 빔의 편광 방향과 반도체 표면의 결정학적 방향 사이의 각에 상당한 의존성을 나타낸다.

따라서, 본 연구에서는 THz 방출의 원리를 규명하기 위하여 LT-GaAs 시료의 성장 방향을 회전축으로 회전시켰다. LT-GaAs 시료에서 THz 복사선의 발생을 방위각의 함수로 측정된 결과, THz 신호의 크기는 방위각의 변화에 무관하였으며, 시료의 두께도 결맞는 길이 (coherent length)에 비해 훨씬 작기 때문에 THz 발생의 원리로 광학 정류 현상은 배제되고, 광학적으로 여기된 순간 광전류에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 방출된 THz 복사선 펄스의 피크 진폭은 외부에서 조사하는 레이저 파워가 증가함에 따라 선형적으로 비례하면서 증가하였다. 이 결과는 외부에서 조사하는 적당한 광학 펄스 에너지 영역에서

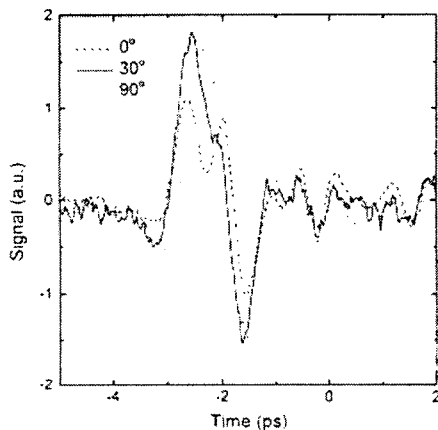


그림 2. 방위각의 함수로 측정된 LT-GaAs의 THz 신호.

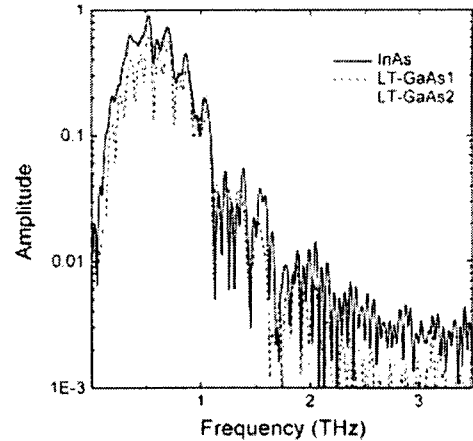


그림 3. InAs와 LT-GaAs에서 발생한 THz 파형의 푸리에 스펙트럼.

THz 신호의 발생은 순간 광전류에 의해 발생한다는 결과를 뒷받침해 준다 [3].

강한 THz 신호를 발생시키는 반도체 에미터로 알려진 InAs의 THz 신호와 본 연구에 사용된 LT-GaAs 시료에서 발생한 THz 신호를 비교함으로써 LT-GaAs의 특성을 평가할 수 있는데, LT-GaAs 표면에서 발생한 THz 전계는 InAs에서 방출된 THz 전계의 크기와 같은 차수를 보였다. 그림 3은 시간 영역에서 측정된 THz 신호를 푸리에 변환하여 진폭을 주파수의 함수로 나타낸 것이다. LT-GaAs의 표면에서 발생한 THz 전계는 최적의 InAs에서 발생한 THz 전계와 같은 차수의 크기를 가짐을 알 수 있다. 시료에서 검출된 밴드폭은 최대 3 THz 이었다.

4. 결론

LT-GaAs 시료를 MBE 방법으로 성장하여 폭 70 fs를 갖는 Ti:S 레이저 펄스를 그 시료의 표면에 직접 조사하여 THz 전자파를 발생시켰다. THz 전자파는 광학적으로 여기된 순간 광전류에 의해 발생하였으며, 폭은 약 1 ps 이었다.

감사의 글

본 연구를 위해 시료를 제공해 준 KIST 박용주, 김동완 박사께 감사를 표합니다.

참고 문헌

- [1] H. Erlig, S. Wang, T. Azfar, A. Udupa, H. R. Fetterman and D. C. Streit, Electronics Lett. Vol. 35, No. 2, p. 1, 1999.
- [2] J. F. Roux, J. L. Coutaz and A. Krotkus, Appl. Phys. Lett. Vol. 74, No. 17, p. 2462, 1999.
- [3] X. C. Zhang and D. Auston, J. Appl. Phys. Vol. 71, p. 326, 1992.