

Terahertz Generation and Detection Using InGaAs/InAlAs Multi Quantum Well

박동우^{1,4}, 한임식¹, 노삼규^{1*}, 지영빈², 오승재², 서진석², 전태인³, 김진수⁴, 김종수⁵

¹한국표준과학연구원, 나노소재평가센터, 대전, ²연세대학교, 연의생공연 메디컬 융합연구소, 서울, ³한국해양대학교 전자공학과, 부산, ⁴전북대학교, 신소재공학부, 전주, ⁵영남대학교, 물리학과, 대구

테라헤르쯔(terahertz: THz)파는 0.1~10 THz 의 범위로 적외선과 방송파 사이에 광대역 주파수 스펙트럼을 차지하고 있으며 직진성, 투과성, 그리고 낮은 에너지 (meV)를 가지고 있어 비 파괴적이고 무해한 장점을 지니고 있다. Ti:sapphire laser와 같은 femto-pulse source 등이 많은 발전이 되어 현재 많은 연구와 발전이 이루어지고 있다. femto-pulse source를 이용한 THz 응용에서는 높은 저항, 큰 전자 이동도, 그리고 아주 짧은 전하수명의 기판을 요구하는데 저온에서 성장한 (low-temperature grown : LT) GaAs는 격자 내에 Gallium 자리에 Arsenic이 치환 하면서 AsGa antisite가 발생하여 전하수명을 짧아지는 것을 응용하여 가장 많이 이용되고 있다. 현재 THz 응용분야에서 보다 작고 가격경쟁력이 있는 광통신을 이용한 THz photomixer등이 활발히 연구 하고 있다. 광섬유 내에서 손실과 분산이 최소 값을 가지는 부분이 1.55 μm 부근이고 In_{0.53}Ga_{0.47}As 기판을 이용하였을 때 여기에 완벽하게 만족하게 된다. 하지만 LT-InGaAs 의 경우 AsGa antisite로 인하여 carrier lifetime은 짧아지지만 높은 n-type 전하밀도를 가지게 된다. 이때 Be을 doping하여 전하밀도를 보상하여 높은 저항을 유지해야 하는데 Be의 활성화를 위해서는 열처리를 필요로 한다. 하지만 열처리를 하면 carrier lifetime이 길어지기 때문에 carrier lifetime과 저항을 적절히 조율해야 한다. 이는 물질자체의 특성이기 때문에 InGaAs는 GaAs보다 낮은 amplitude와 짧은 cut-off frequency를 가진다. 본 연구에서는 보다 높은 저항을 얻기 위하여 molecular beam epitaxy를 이용하여 semi-insulating InP:Fe 기판위에 격자 정합된 InGaAs:Be/InAlAs multi quantum well (MQW)를 온도별 (250~400°C), 주기별 (50~150)로 성장을 하였고 이때 InGaAs layer의 Be doping level은 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, Ex-situ annealing은 550°C에서 10분으로 고정 하였다. THz 발생 실험에서는 InGaAs/InAlAs MQW은 4000 pA로 1,000 pA를 가지는 InGaAs epilayer보다 4배 높은 전류 신호를 얻을 수 있었고 모든 샘플이 2 THz에서 cut-off frequency를 가지고 있었다. THz 검출 실험에서는 LT-InGaAs:Be epilayer LT-InGaAs:Be/InAlAs, HT-InGaAs/InAlAs 샘플이 각각 180, 9000, 12000 pA의 전류신호를 가지고 있었고 모든 샘플이 2 THz에서 cut-off frequency를 가지고 있었다. HT-InGaAs/InAlAs MQW를 이용한 검출실험에서는 InGaAs layer가 defect free이지만 LT-InGaAs:Be/ InAlAs MQW보다 높은 전류 신호를 얻을 수 있었다. 이는 InAlAs layer가 저항만 높이는 것뿐만 아니라 carrier trapping layer로서의 역할도 하는 것으로 사료된다.

Keywords: terahertz, multi quantum well, InGaAs