

IFVD방식의 다중양자우물구조의 서로섞임에서 발생되는 스트레인에 의한 도파로형 광다이오드의 편광의존성

Polarization dependency of waveguide photodiode
by strain induced from IFVD multi-quantum-well intermixing

윤 경 훈*, 박 현 상, 여 덕 호, 김 성 준
서울대학교 전기공학부 광전자집적회로연구실

Abstract

Polarization dependency of waveguide photodiode was investigated to see the effect of IFVD on strain of quantum-well. It was expected that during IFVD group V elements interdiffuse dominantly causing tensile strain in the well region and compressive in the barrier. Photocurrent measurement shows that absorption edge of TE mode(by heavy hole) moves larger than that of TM mode(by light hole) resulted from tensile strain in well by IFVD. This can be used to make polarization independent photonic integrated circuits.

다중양자우물구조의 서로섞임(Quantum-Well Intermixing, QWI)에 의한 광집적회로(Potonic Integrated Circuits, PIC)의 제작은 지역 선택적 성장(Selective Area Grrowth, SAG), 재성장(regrowth)등에 비하여 제작상의 용이함으로 인하여 오늘날 널리 활용되고 있다. [1] QWI에는 여러 가지 다양한 방법들이 사용되고 있으며, 이중에서도 불순물 주입이 없는 Vacancy의 확산에 의한 섞임(Impurity-Free Vacancy Diffusion, IFVD)은 적은 손실을 가지는 광도파로의 제작에 대한 이점으로 많이 활용되고 있다. 그럼에도 불구하고 아직까지 에너지갭의 변화에 대한 정확한 설명이 이루어지고 있지 않으며, 몇몇의 이론적인 연구에도 불구하고 이러한 결과들이 실험적인 내용과 어떤 연관성이 있는가에 대한 일관적인 설명이 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 IFVD 방법을 사용하여 제작된 다중파장 검출용 광수신기의 파장 및 편광상태에 따른 광전류 특성을 통하여 IFVD에 의하여 생기는 양자우물 내부의 strain현상을 이론과 관련하여 이해하고자 하였다.

그림1은 이번 실험에 사용된 에피층의 구조를 나타낸 것이다. 각 층은 MOCVD방법으로 성장되었으며, 모든 구조에서 InP에 격자 정합된 구조이다. 상온에서의 PL을 통하여 확인된 양자우물의 에너지갭은 $1.56\mu\text{m}$ (0.79eV)였다. IFVD방식은 다음과 같이 진행되었다. InGaAs 층위에 PECVD방법을 사용하여 SiO_2 증착한 후에 RTA를 행하였다. 사용된 SiO_2 층의 두께

는 1700\AA 이고, RTA는 750°C 에서 30초간 행해졌다. PL을 통하여 확인된 에너지갭의 변화는 약 40meV 로 파장은 $1.5\mu\text{m}$ 부근이된다.

IFVD방식에의한 QWI은 III족 원소와 V족 원소간의 상호화산에 의한 것으로 추정된다. 이를 일반적인 화산모델에 의하여 해석적인 해를 구하면 error function의 형태를 가지는 것으로 알려졌다. 이러한 각 원소들의 화산과정에서 III족 원소와 V족 원소의 화산속도의 차이에 따라서 에너지갭이 변화하는 양상이 달라질 것이 기대된다.[2] 이전의 실험을 통하여 InGaAsP/InP계열의 IFVD에서는 V족 원소가 III족의 원소에 비하여 비슷하거나 빠르게 확산하는 것으로 확인되었다. V족 원소의 확산으로 장벽에 있던 P와 well에 있던 As의 교환이 이루어지며, 이로 인하여 well 내부의 격자 크기가 외부에 비하여 작아지게 된다. 따라서 well 내부에는 tensile strain이 형성되며, 반대로 장벽쪽에는 compressive strain이 형성된다. 격자정합된 InGaAs(P)/InGaAsP 양자우물의 경우에는 light hole과 heavy hole band가 분리되며, 이때 heavy hole band가 위쪽에 위치하게 된다. IFVD과정이 전제적으로 conduction band와 heavy hole band, light hole band 사이의 간격을 넓혀서 에너지갭의 증가를 가져오

지만, well 내부에서 생기는 tensile strain에 의하여 light hole band가 heavy hole band보다 에너지갭의 변화가 작아지는 것을 예측할 수 있다.

그림2와 같은 도파로형 광수신기를 제작하여 입사된 빛의 편광에 따른 흡수에 의한 광전류의 측정을 통하여 이를 확인하였다. 양자우물의 평면을 따라서 입사하게 되는 TE편광상태는 주로 conduction band와 heavy hole band간의 천이에 의하여 빛을 흡수하게 되며, TM편광상태의 빛은 conduction band와 light hole band간의 천이에 의하여 빛을 흡수하게 된다. 그림3에서 $1.5\mu\text{m}$ 대역의 가변파장 레이저를 사용하여 측정한 파장과 편광상태에 따른 도파로형 광수신다이오드의 광전류특성을 보였다.

IFVD를 하기 전의 광수신다이오드에서는 heavy hole band에 의한 TE편광에 의한 흡수 꿀단이 light hole band에 의한 TM편광에 의한 것보다 낮은 에너지에 위치하고 있는 것이 보인다. IFVD처리를 하고난 후의 광수신다이오드에서는 전반적인 흡수곡선은 단파장쪽으로 이동하였는데, heavy hole band에 의한 TE편광에 의한 흡수가 light hole band에 의한 TM편광에 의한 흡수보다 훨씬 많이 단파장쪽으로 이동한 것을 알 수 있다. 이는 이론적으로 예측되는 경향성과 일치하는 것을 보인다.

IFVD방법의 다중양자우물 서로섞임에 의하여 V족 원소의 확산이 III족 원소의 확산보다 우세하여 well 내부에 tensile strain이 형성되어서 light hole band가 heavy hole band보다 적게 단파장쪽으로 이동하는 것을 편광에 따른 도파로형 광수신다이오드의 광전류 특성을 통하여 확인하였다. 이를 활용하면 광집적회로에서 문제시되는 편광의존적인 특성을 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

(참고문헌)

- (1) IEEE Selected Topics in Quantum Electronics special issues on *Interdiffused Quantum-Well Materials and Devices*, Vol.4, No.4, July/August, 1998
- (2) J. Micallef, et al. *Effect of interdiffusion on the sub-band-edge structure of InGaAs/InP*

single quantum wells, J. Appl. Phys. 73, p7524, 1993

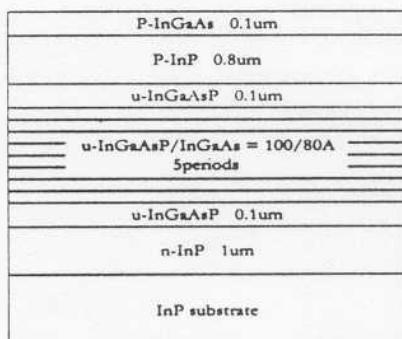


그림 1 성장된 에피 구조



그림 2 제작된 도파로형 광수신다이오드

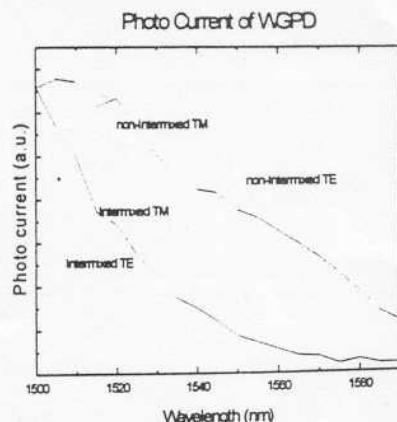


그림 3 도파로형 광수신다이오드의 광전류