

표면 반사형 GaAs/AlGaAs 다중 양자 우물 전광 스위치의 해석

Analysis of Surface Reflection Type GaAs/AlGaAs Multiple Quantum Well All-Optical Switches

최 용 호*, 최 우 영
연세대학교 전자공학과

Abstract

Surface reflection type GaAs/AlGaAs multiple quantum well all-optical switches are analyzed. The absorption and refractive index spectra of GaAs quantum well are calculated, and using these, the switching characteristics are investigated. It is shown that adding to DBR improves on/off ratio and reduces the switching time.

최근 초고속 광통신 시스템 구현을 위한 초고속 전광 스위치 소자에 대한 연구가 활발해지고 있다 [1,2]. 초고속 스위칭에 관한 연구는 보다 짧은 lifetime을 갖는 재료에 대한 연구와 효율적 스위칭을 위한 구조 연구, 두가지 방향으로 진행되고 있다. 본 연구에서는 GaAs/AlGaAs 다중 양자 우물을 이용한 반사형 전광 스위치의 해석을 시도하였다.

일반적으로 반사형 전광 스위치의 기본 구조는 표면에서 반사로 인한 손실을 줄이기 위한 AR coating 층, 비선형 현상을 발생시키는 다중 양자 우물 층, 스위치에 입사된 신호를 반사시키는 mirror로 구성되어 있다. 스위치의 동작은 pump 신호로 제어되어, pump 신호가 없는 경우, 입력된 probe신호는 다중 양자 우물 층에서 흡수되어 출력신호로 나타나지 않게 된다. 그러나 pump 신호가 있는 경우에는 다중 양자 우물 층의 흡수 계수가 포화 현상을 일으키게 된다. 따라서 probe 신호는 흡수되지 않고 on 상태로 출력된다. Pump 신호가 없는 off 상태일 때 probe 신호는 양자 우물 층에서 완전히 흡수되지 않고 출력되는데, 이것은 스위치의 on/off 비를 감소시키는 주된 원인이 된다. Off 상태의 출력신호를 감소시키기 위해서는 양자 우물의 수를 증가시키면 된다. 그러나 양자 우물의 수를 증가시키는 방법은 off 상태 출력 신호 크기뿐만 아니라 on 상태 출력 신호의 크기도 감소시킨다.

본 연구에서는 on/off 비를 증가시키기 위해서 양자 우물 층의 상단부에 낮은 reflectivity를 갖는 DBR 층을 추가하였다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 DBR에서 반사된 신호와 출력신호가 out-of-phase 상태가 되도록 위상 조절 층의 두께를 조절해 주면 off 출력 신호가 0에 더욱 가깝도록 할 수 있다. 스위치가 on 상태일 때에는 양자 우물 층의 포화에 따른 probe 신호 투과량의 증가로 인해 DBR에서 반사된 작은 신호는 무시될 수 있다. 뿐만 아니라, pump

신호는 다중 양자 우물 층의 흡수 계수를 변화시켜 굴절률 변화를 유도하게되고, 이러한 굴절률의 변화는 DBR에서 반사된 신호와 mirror에서 반사된 신호 사이의 out-of-phase 상태를 변화시킨다.

스위치의 동작 특성을 해석하기 위해 75Å의 두께를 갖는 GaAs 양자 우물의 광 흡수 계수를 계산하였다. 그림 2는 pump 신호에 의해 발생하는 carrier의 농도에 따른 흡수 계수 변화를 보여주고 있다. 흡수 계수 변화에 따른 굴절률 변화 계산은 Kramers-Kronig 변환을 이용하여 계산하였으며 계산 결과는 그림 3과 같다.

Probe 신호의 에너지 준위는 그림 3에서 굴절률 변화가 가장 큰 영역(1.45eV)으로 설정했다. 양자우물 내에서 GaAs의 carrier lifetime τ 는 20ns로 설정했다. 스위치의 GaAs/AlGaAs 양자 우물의 수는 150개로 정했으며, pump 신호가 없을 때 스위치에 반사되는 probe 신호는 대략 1%의 출력값을 갖는다. DBR의 반사율은 DBR에서 반사되는 신호의 크기와 Au mirror에 반사되는 신호의 크기와 같도록 계산해서 설정하였다.

그림 4는 DBR이 없는 스위치와 1%의 reflectivity를 갖는 DBR 층을 추가한 스위치의 pump power에 따른 출력 신호의 특성 (Δ transmission/transmission)을 나타낸 것이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 DBR을 이용한 스위치의 경우 off 상태에서의 출력 신호가 현저하게 감소하였다. 이것은 결과적으로 on/off 비가 향상됨을 의미한다.

Pump-probe 지연 시간에 따른 스위치의 출력 특성은 그림 5와 같다. Pump-probe 신호의 지연시간은 약 3ns일 때에서 출력 신호의 크기가 최대가 되었다. 그림 5에서 보면 DBR이 없는 스위치의 경우 출력값이 1/2이하로 떨어지기까지 약 15ns 정도의 시간이 소요되나 DBR이 있는 스위치의 경우는 약 10ns 정도 소요됨을 알 수가 있다. 출력신호가 최대인 delay

시간에서부터 시간이 증가함에 따라 carrier 농도는 감소한다. 따라서 굴절률이 변화되므로 DBR에서 반사되는 신호와 Au mirror에서 반사되는 신호가 상쇄되어 출력 신호가 더욱 빠르게 감소한다. 그림 5는 전광 스위치에서 동일한 lifetime을 갖는 반도체 소자에 대해서 DBR 층을 추가한 스위치가 더욱 빠른 스위칭이 가능함을 보여주고 있다

본 논문에서는 DBR을 이용해서 기존의 스위칭 소자[3,4]가 가지는 출력신호의 on/off 비율 크게 향상시킬 수 있는 구조를 제안하였다. 뿐만 아니라, 제안된 구조의 스위치가 스위칭 속도를 향상시킴을 보았다.

참고문헌

- [1] C.N. Ironside, " Ultra-fast all optical switching," Contemporary Phys, Vol 34, p.1, 1993
- [2] P.W. Juodawlkis, " Ultrafast carrier dynamics and optical nonlinearities of low temperature grown InGaAs/InAlAs multiple quantum wells," Appl. Phys. Lett. Vol. 69, p. 4062, 1996.
- [3] G.D. Boyd et. al., "Multiple quantum well reflection modulator," Appl. Phys. Lett. Vol. 50, p. 1119, 1987.
- [4] W. Kowalsky et. al., "Optically controlled GaAs/AlAs multiple quantum well modulators employing integrated dielectric reflectors," Appl. Phys. Lett. Vol. 52, p.1933, 1988.

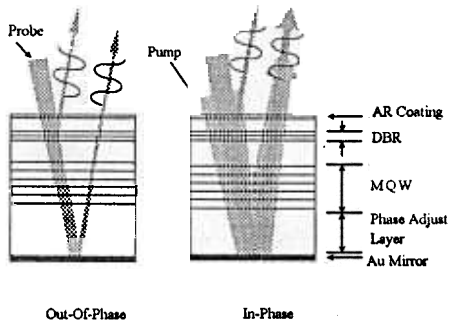


그림 1 DBR을 이용한 전광 스위치의 동작 원리

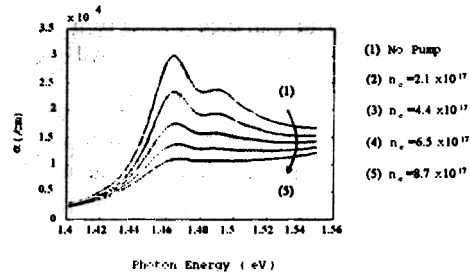


그림 2 Carrier 농도 변화에 따른 absorpton coefficient 변화

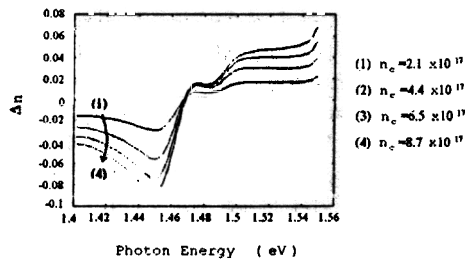


그림 3 Absorpton coefficient 변화에 따른 굴절률 변화

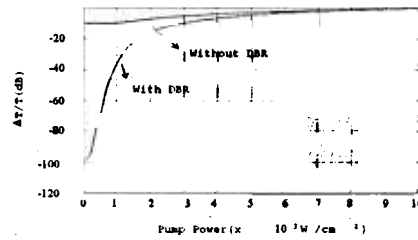


그림 4 Pump power에 따른 출력 특성

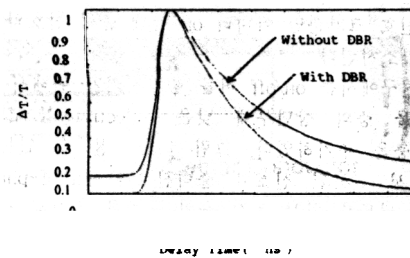


그림 5 Pump-probe의 delay 특성에 따른 스위치의 출력 특성