

다중량자우물에서 우물유효깊이변화에 대한 연구

박 춘 배

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《모든 과학자, 기술자들이 과학기술발전의 추세에 맞게 첨단과학과 기초과학발전에 힘을 넣어 나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》 제20권 증보판 62페이지)

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 이질계에 대한 연구에서 양자우물개수에 따르는 일반적인 동작특성[1, 2]은 고찰되었지만 양자우물개수의 유효깊이에 대한 영향은 고찰된것이 없다.

우리는 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 이질계에 기초한 반도체레이자의 동작특성에서 반드시 고려하여야 할 다중량자우물의 유효깊이에 주는 양자우물개수의 영향을 이론적으로 고찰하였다.

1. 이론적고찰

이질계에 기초한 양자우물에서 포텐셜우물너비를 점차 감소시켜 전자의 드브로이파장이 이하로 작게 하면 우물내부에서는 나르개의 공간적인 운동이 제한되면서 양자화된 에너르기준위들이 새롭게 나타난다. 이때 포텐셜우물의 깊이는 양자우물을 형성하는 두 재료의 금지띠너비뿐만아니라 크기양자화에너지준위에도 관계된다. 다시말하여 양자우물의 유효깊이가 크기양자화효과에 의하여 변한다.

양자우물이 하나가 아니고 여러개가 련속적으로 배열된 다중량자우물이나 초살창구조에서는 크기양자화에 의한 에너르기분리가 형성되면서 그것의 폭이 양자우물의 수에 따라서 변한다. 즉 양자우물의 수에 따라서도 양자우물의 유효깊이가 변하게 된다.

이 유효깊이는 양자우물에 포획된 나르개의 이온화확률을 변화시키며 결과적으로 나르개밀폐정도도 달라지게 한다. 따라서 다중량자우물구조에 기초한 반도체레이자들의 동작특성량들인 복사과장과 반쪽 및 턴전류도 양자우물의 수 N 에 관계된다.

일반적으로 다중량자우물에서 크기양자화준위(에너지고유값)는 유한포텐셜을 가진 시간독립슈뢰딩거파동방정식

$$H\psi(z) = E\psi(z)$$

를 리산화하면 MATLAB에 의하여 계산할수 있다.[1] 여기서 $H = -\frac{\hbar^2}{2} \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{1}{m(z)} \frac{\partial}{\partial z} \right] + V(z)$ 인 유효하밀토니안, $\psi(z)$ 는 우물경계에 수직인 z 방향에 대한 포락파동함수, $m(z)$ 는 전자의 유효질량, $V(z)$ 는 포텐셜에너지, E 는 에너지고유값이다.

계산은 AlGaAs/GaAs/AlGaAs에 기초한 이질계에서 필요한 상수들을 리용하여 진행하였다.[1]

2. 계산결과 및 분석

량자우물의 너비가 5nm, 우물사이 장벽두께가 5nm인 대칭다중량자우물에서 우물의 개수 N 에 따르는 럡자우물의 깊이 h 의 변화특성은 그림 1과 같다.

그림 1에서 $E_0(0.738\text{eV})$ 은 $x=0$ 인 GaAs의 전도띠바닥으로부터 계산한 럡자우물천정의 에네르기이다.

그림 1에서 보는바와 같이 럡자우물의 개수가 증가하는데 따라 럡자우물의 깊이 $h_1=E_0-E_2$ 는 지수함수적으로 감소한다는것을 알수 있다. h_1 에서 첨수 1은 $n=1$, E_2 는 $n=2$ 에 대응하는 분띠의 제일 웃준위의 에네르기임을 의미한다.

량자우물의 너비와 우물사이장벽두께가 일정한 값을 가질 때 우물의 개수 N 에 따라 럡자우물의 깊이 h 가 감소하는것을 다음과 같이 설명할수 있다.

h 가 커지면 럡자우물에서 동일한 럡자수 n 에 대응하는 에네르기준위수가 N 개만큼 증가한다. 그러므로 이때 형성되는 에네르기분띠의 폭이 커지면서 그것의 제일 웃준위는 위로 올라가게 된다. 따라서 h 는 럡자우물수에 따라 비선형적으로 감소하게 된다.

$n=1$ 에 대응하는 에네르기분띠에서 웃준위의 변화특성은 그림 2와 같다.

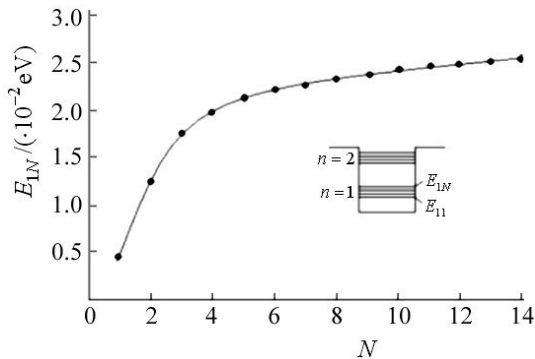


그림 2. 다중량자우물에서 럡자우물의 개수에 따르는 에네르기준위의 변화 $n=1$ 인 경우

체레이자의 동작특성에 그대로 반영된다.

량자우물에 포획된 나르개들의 이온화확률은 럡자우물의 유효깊이 h 가 감소함에 따라서 증가한다.[2] 그러므로 다중량자우물반도체레이자의 중요한 동작특성량인 발진파장과 반폭 및 턴전류를 결정할 때 반드시 럡자우물의 유효깊이 h 의 변화를 고려하여야 한다.

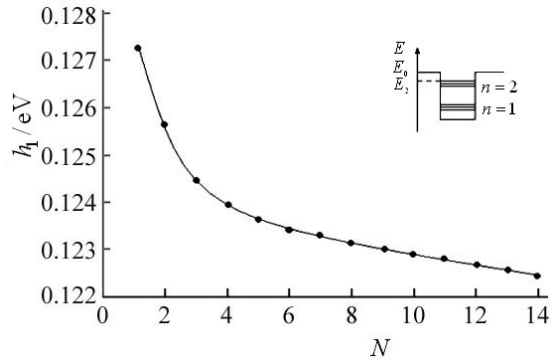


그림 1. 대칭다중량자우물에서 우물개수 N 에 따르는 럡자우물깊이의 변화

맺 는 말

다중량자우물에서 양자우물의 너비, 장벽두께가 일정할 때 크기양자효과에 의하여 양자우물의 유효깊이 h 는 양자우물의 개수 N 에 따라 지수함수적으로 감소한다는것을 확증하였다.

참 고 문 헌

[1] 박춘배; 조선나노과학기술협회지, 1, 16, 주체98(2009).

[2] T. Simeon et al.; Proc. SPIE, 72162Q-1, 7216, 2009.

주체103(2014)년 6월 5일 원고접수

Effective Depth of Wells in case of Multiple Quantum Well

Pak Chun Bae

In the case of multiple quantum well, when the width and the barrier thickness of quantum wells(QWs) are constant, the effective depth of QWs, h , is exponentially decreased with the number of QWs, N , by size quantum effect.

Key word: multiple quantum well