

# 단일 양자점에서 테라헤르쯔 전기장에 의한 전자들의 동역학

## Carrier dynamics in a single quantum dot driven by Terahertz fields

제구출, 김재혁, 안홍규, 김대근, 임상엽, 박승한

연세대학교 물리학과

je@yonsei.ac.kr

양자점 반도체는 3차원의 강한 양자감금 효과로 인하여 전기적이고 광학적인 특성들이 bulk 반도체에 비하여 현저하게 유도되는 장점을 갖고 있다. 최근에는 나노구조 반도체의 광학적인 특성이 시간에 따라 변하는 외부전기장을 이용하여 쉽게 조절될 수 있다는 것이 알려진 후로 시간에 의존하는 외부전기장에 대한 전자들의 운동에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 그 결과로 나노 구조 반도체들에 THz 전기장을 이용하여 광학적인 특성들을 조절하려는 시도가 매우 큰 관심으로 추진되고 있다<sup>(1-3)</sup>.

우리는 단일 양자점에 THz 펄스  $F_{THz} = F_0 \cos \omega t$  가 가해진 경우에 일어나는 전기적, 광학적인 특성들의 변화를 조사하여 새로운 소자로서의 가능성을 조사하고자 한다. 시간에 주기적인 외부 전기장으로 인하여 양자점에서 전자들에 대한 운동을 기술하는 헤밀토니안은 시간에 대한 주기성을 갖는다. 이 경우에 전자들의 동역학은 Floquet 이론으로 잘 기술 되어 진다는 것이 알려져 있다<sup>(4)</sup>. 본 연구에서는 THz 전기장이 가해진 경우에 펨토 초 레이저에 의해서 여기된 전하의 운동을 펨토 초 영역에서 기술하여 전기적이고 광학적인 특성을 조사한다. 이 경우에 엑시톤들이 형성되는 것을 흡수 스펙트럼을 통해서 볼 수 있으며, 또 형성된 엑시톤들이 THz 주파수에 해당하는 진동수의 광자들을 흡수하는 사실을 발견할 수 있다. 이 경우에 흡수 스펙트럼은 엑시톤 에너지 위치에서 THz의 주파수의 정수배에 해당하는 위치에 흡수 봉우리들이 발생하는데, 이것을 광학적인 sideband라 부른다. 본 연구는 이 sidebands의 기원과 THz 세기에 따른 변화를 양자점에서 전자들의 동역학을 기술하여 조사하였다.

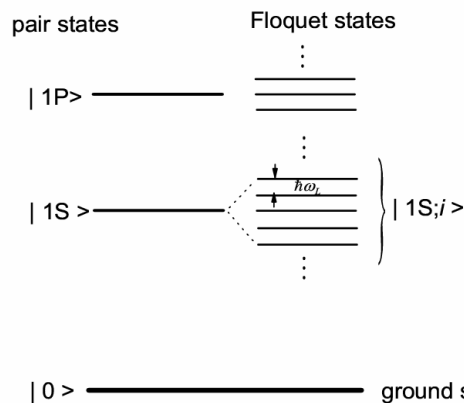


그림 1. 단일 양자점에서 엑시톤들의 Floquet 상태들의 형성.

그림 1은 단일 양자점에서 조사 펄스에 의해서 여기된 엑시톤들의 상태들을 보여주고 있다. 이 여기된 엑시톤들은 시간에 주기적인 THz 펄스에 의해서 다시 분리되는 상태, 즉 Floquet 상태로 된다. 이 경우 Floquet 상태들 사이에 광학적인 흡수가 일어나게 된다.

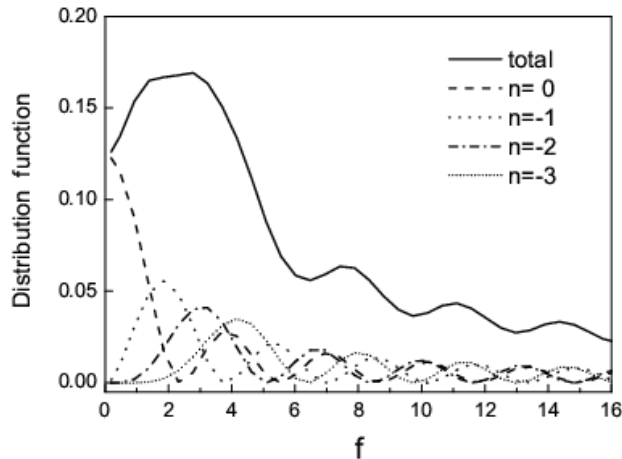


그림 2. 1S(n=0)의 엑시톤과 1S의 Floquet 상태들에 대한 엑시톤들의 분포함수.(실선은 1S 엑시톤들)

[그림 2]는 1S와 1S의 Floquet 상태들에서의 엑시톤들의 분포함수를 보여주고 있다. 즉 1S의 엑시톤들의 형성은 1S의 Floquet 상태들의 전하와 양공으로 이루지기 때문에 각 상태들에서 엑시톤들의 분포함수의 변화가 일어남을 알 수 있다. 이것은 1S 엑시톤 위치에서 THz 주파수의 정수배에 해당하는 흡수가 생길 수 있음을 의미하는 것이다. 또한 각 분포함수들은 THz 세기에 따라 변하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 THz 세기에 따라 흡수 세기가 바뀔 수 있음을 보여주는 것이다. 위의 결과는 생성된 엑시톤들이 가해지는 THz 전기장에 의해 새로운 Floquet 고유상태들을 갖게 되는 것과 밀접하게 관계되어진다.

본 발표에서는 단일 양자점 반도체에서 시간에 따라 변하는 THz 펄스가 가해지는 경우에 엑시톤들의 동역학을 기술하여 광학적인 특성들의 변화를 조사하고, 그들의 역학관계를 규명하고자 한다.

#### 참고문헌

1. S.G. Carter, V. Birkedal, C.S. Wang, L.A. Coldren, A.V. Maslov, D.S. Citrin, and M.S. Sherwin, "Quantum Coherence in an Optical Modulator," Science, vol. 310, pp. 651 ~ 653, (2005).
2. M.Y. Su, S.G. Carter, M.S. Sherwin, A. Huntington, and L.A. Coldren, Phys. Rev. B vol.67, 125307 (2003).
3. K.-C. Je, S.-H. Park, and Y. Kim, Phys. Rev. B vol. 64, 75111 (2001).
4. M. Grifoni and P. Hanggi, Phys. Rep. 304, 229 (1998).