



Title	半導体量子微結晶の2光子共鳴スペクトルと電子構造
Author(s)	井上, 久遠
Citation	電子科学研究, 3, 65-66
Issue Date	1996-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24348
Type	departmental bulletin paper
File Information	3_P65-66.pdf



半導体量子微結晶の 2光子共鳴スペクトルと電子構造

量子機能素子研究分野 井上久遠

我々自身が開発した原理的に新しい2光子共鳴分光法を駆使して、サイズが4 nmのCdS,並びに6 nmのCuBr微結晶の量子閉じ込め電子構造を調べた。それぞれの系に特有な、量子閉じ込め効果による新しい固有状態をはじめて見出した。

1. 研究目的と背景

サイズ(R)が10 nm以下の半導体微結晶では、量子閉じ込め効果が顕著になり、素励起は3次元バルクの状態とは全く異なる。バルク状態の励起子の直径を r_B として、 $R < r_B$ では、価電子帯、伝導帯はそれぞれ個別に量子化されて、対称性に依拠して1s, 1p, 1d, 2s, 2p, …のように離散的な固有状態をもつと予想されている。一方、 $R > r_B$ では、励起子の重心運動が量子化されて、励起子の包絡関数が1s, 1p, …のように角運動量量子数をもつはずである。前者を強閉じ込め系、後者を弱閉じ込め系と呼ぶ^[1]。新しい電子系として、また将来の有望な素子として、ガラス中に希薄に成長させた球状の微結晶を主な対象に研究が活発化している。しかしながら、電子構造は未だ殆ど解明されていない。1光子遷移を利用した分光法以外に、解明のための適切な観測手段がないためである。

2. 2光子共鳴分光法と実験

電子状態は角運動量、およびパリティが良い量子数となるために、例えば、強閉じ込め系では価電子帯から伝導帯の遷移は、1光子遷移では1Sh-1Se, 2Sh-2Se, …のみに限られるのに対し、2光子遷移では他の量子状態間の遷移が殆どの場合、許容となる。2光子吸収量を直接観測する方法は、これらの系では有用ではない。このため、我々が開発してきた原理的に新しい2光子共鳴分光法、すなわち2光子エネルギーが電子遷移に共鳴した場合に生じるハイパーラマン

(HR)分光法^[2,3]とSHG(光第2高調波発生)分光法^[4]が有用であると考えて研究を行った。実験方法は、自作した波長が可変のTiサファイアレーザーを試料に照射し、散乱される光を高感度で検出し、それらの2光子励起スペクトルを観測した。

3. 観測結果

a. 強い閉じ込め系の例：半径2.0 nmのCdS微結晶—図1に最低励起エネルギー近傍で観測される2光子共鳴散乱スペクトルの例を示す(300K)。 $2h\omega_0$ ($h\omega_0$; 入射光子エネルギー)の位置の鋭いスペクトルがSHG信号であり、さらに縦波LO光学フォノンのエネルギーだけシフトしたスペクトル(HR信号)が観測されている。それぞれの信号強度の入射光子エネルギー依存性と、1光子吸収スペクトル(OPA)との比較を図2に示す。相互のピーク位置がずれていることがわかる。この比較から、価電子帯、伝導帯ともに量子化された1p準位が存在することがわかった^[5]。

b. 弱閉じ込め系の例；半径3.2 nmのCuBr微結晶—量子数 $n=1, l=0$ の Z_{12} , 1S励起子(挿入図の最低エネルギーのピーク)の領域で観測したスペクトルの例(2K)を図3に示す。共鳴SHG信号とLOフォノンによる共鳴HR信号が観測される点はCdSと同様である。励起光子に依存しないブロードな信号は、励起子の再結合による発光スペクトルである。2光子エネルギーを大きくしていくと、5番目までのLOフォノン信号が観測される。観測されるLOフォノンの数は $2h\omega_0$ とOPAの低エネルギー端の値の差

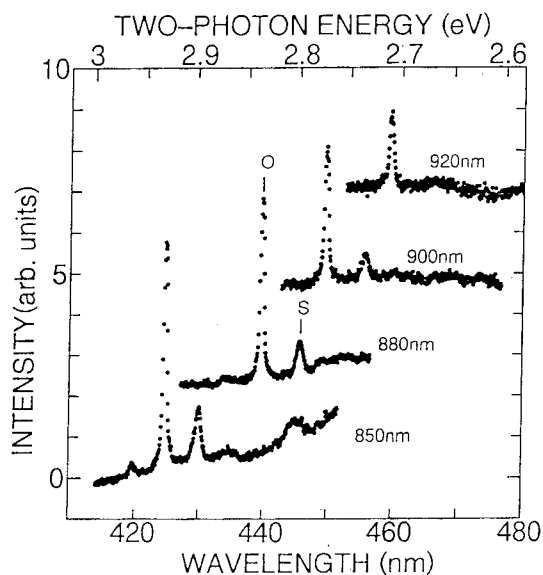


図1 CdS 微結晶の2光子共鳴散乱スペクトルの例。O, S はそれぞれ共鳴 SHG, 共鳴 HR 信号を示す。

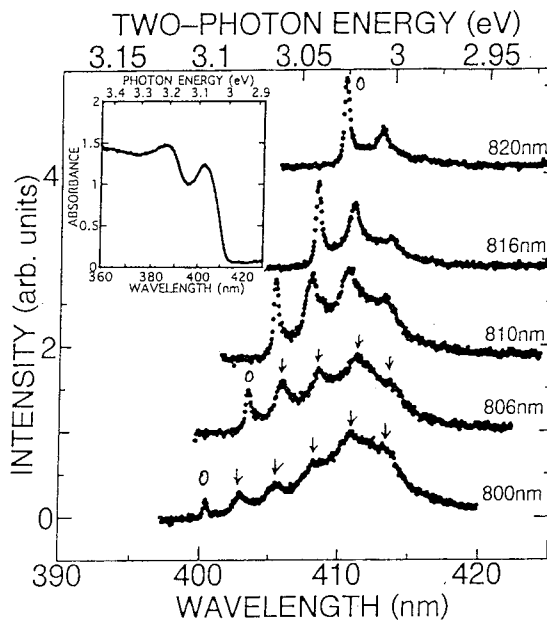


図3 CuBr 微結晶の2光子共鳴散乱スペクトルの例 (2 K)。そう入図は OPA スペクトル。

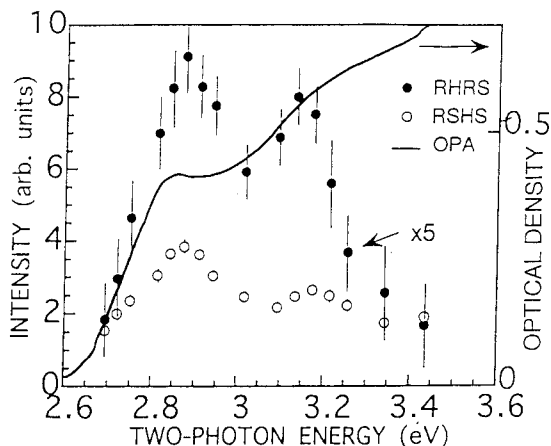


図2 CdS 微結晶の共鳴 SHG (o), 共鳴 HR 信号 (o) 強度の2光子励起スペクトル。

で決まっている^[6]。サイズの分布を考えると、この分光法はサイト (サイズ) 選択分光になっている。従って、観測されている信号は高次の HR 散乱信号というよりは、ホットルミネッセンス的である。この観点に立つと、この系では励起子自身ではなく、励起子-LO フォノンが強く結合した状態が真の固有状態であることを示している。つまり“分子的”になっている。また、励起子と、電荷を持った LO フォノンとの相互作用がサイズが小さくなると共に強くなっている。

以上をまとめると、半導体微結晶の素励起、並びに素励起間の相互作用の解明に、2光子共鳴分光法が優れた手段を与えることを実証した。同時に、量子微結晶に特有な新しい固有状態の存在も明らかにした。

【参考文献】

- [1] Al. L. Efros and A. L. Efros : Sov. Phys. Semicond. 16, 772 (1982).
- [2] K. Inoue, et al. : Phys. Rev. B45, 8807 (1992).
- [3] 井上久遠, 南不二雄 : 固体物理, 26 巻, 5 号, 1 (1991).
- [4] 南不二雄, 井上久遠 : 日本物理学会誌, 50 巻, 6 号, 455 (1995).
- [5] A. V. Baranov, K. Inoue, K. Toba, A. Yamanaka, V. I. Petrov and A. V. Fedorov: Phys. Rev. B, to be published.
- [6] K. Inoue, A. V. Baranov and A. Yamanaka: Physica B, 印刷中.