

半導体超微粒子を光活性層とする垂直型微小光共振器の発光特性

山口大学工学部 二井手 亮、栗巢 普揮、山本 節夫、松浦 満

はじめに

波長サイズの共振器による自然放出光の制御は、従来のレーザの概念を越えた新しい発光デバイスを探索するという、光エレクトロニクス応用の視点から関心が高まっている。自然放出光の制御は、自然放出光の有効利用と言い換えてもよいが、これはまた効率的な誘導放出に直接結びついており、極低入力パワーで動作するレーザの実現のうえで非常に重要である¹⁾。これまで、GaAs 量子井戸などを光活性層とする微小光共振器において、自然放出光が増強できることなどがわかっている²⁾。しかしながら GaAs は、光と物質の電子系の相互作用がそれほど強くない物質である。光と物質の電子系の相互作用が強い物質を光活性層とした場合、自然放出光の大きな増強が見込まれる。このような系を光活性層に適用した微小光共振器の取り組みはほとんど行われていない。そこで筆者は、光と物質の電子系の相互作用が強い物質である CuCl に着目した。本研究では、CuCl 超微粒子を光活性層とし、誘電体多層膜の層数を変化させて作製した垂直型微小光共振器の発光特性について調べることを目的とした。

試料作製

試料作製には誘導結合型プラズマ (ICP) 支援 RF マグネトロンスパッタリング装置を用いた。作製した試料は SiO₂ 基板上に (λ/4) TiO₂/ (λ/4) SiO₂ 誘電体多層膜鏡を成膜し、この誘電体多層膜鏡によって形成される光の定在波の腹位置に (λ/8) 膜厚の SiO₂ 中 CuCl 超微粒子を堆積させた。更に誘電体多層膜鏡を堆積させ CuCl 超微粒子を挟むことで垂直型微小光共振器となる。今回作製した試料の模式図を図 1 に示す。作製した試料は図 1 (a)~(c) に示すように上部に 1 層 (λ/4)、2 層 (λ/2)、4 層 (λ) の (λ/4) TiO₂/ (λ/4) SiO₂ 誘電体多層膜を堆積させたものをそれぞれ作製した。なお、発光スペクトル測定の比較用サンプルとしてそれぞれ同条件で SiO₂ 中 CuCl 超微粒子を作製した ((d))。

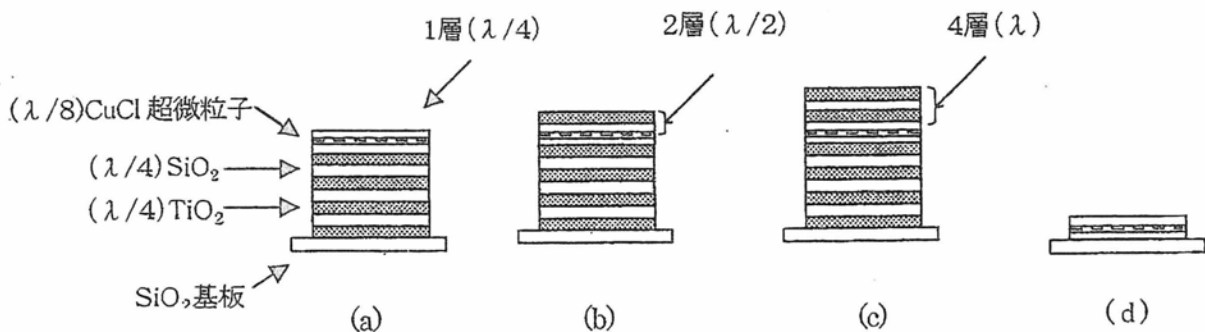


図 1 作製した試料の模式図

発光スペクトル測定結果および考察

発光測定では励起光源として、YAG レーザの 3 倍波 (355nm) を使い、発光スペクトルは分光器で分光し光電子増幅管で受光した。図 2 (a) に上部 1 層の垂直型微小光共振器、(b) に比較用 CuCl 超微粒子の同一励起密度条件下、10K における発光スペクトルを示す。発光スペクトルにおいて 3.234eV に Z₃ 自由励起子発光 X が現れ、その低エネルギー側の 3.200eV、3.185eV に励起子分子発光 MX₁、MX₂ が観測された。図 2 (a)、

(b)で X 発光の強度を比較すると比較用の CuCl 超微粒子に比べ、垂直型微小光共振器では X 発光が約 3 倍に増強した。

図 3 (a) に上部 2 層の垂直型微小光共振器、(b) に比較用 CuCl 超微粒子の発光スペクトルを示す。図 3 (a)、(b) で X 発光の強度を比較すると比較用の CuCl 超微粒子に比べ、垂直型微小光共振器では X 発光が約 10 倍に増強した。また、MX₁、MX₂ 発光においても非常に大きな増強が観測された。

上部 4 層の垂直型微小光共振器においても X 発光の発光強度を比較する。図 4 (a)、(b) より上部 4 層の垂直型微小光共振器では X 発光において約 70 倍の増強が観測された。この試料においても、MX₁、MX₂ 発光の発光強度が顕著に増大した。

以上の結果より、垂直型微小光共振器によって形成される定在波の腹に光活性層を置くことによって自然放出光の増強が確認された。また、上部の誘電体多層膜の総数を増加させると発光の増強が大きくなることが確認された。これは上部に多くの誘電体多層膜を堆積することで光の閉じ込め効果が増大し、電子-光子相互作用が増大したためと考えられる。

まとめと今後の課題

誘電体多層膜鏡によって形成される光の定在波の腹位置に光活性層を堆積させたものは、SiO₂ 中 CuCl 超微粒子に比べ発光強度が増大した。また、上部の誘電体多層膜の総数を増加させたことでさらに発光強度が増大した。

今後は誘電体多層膜鏡によって形成される定在波の節位置に光活性層を置くことで自然放出光の抑制を試みる。また、自然放出光の増大や抑制を理論的に解析し、実験値と比較する予定である。垂直型微小光共振器中では光の電磁波の振幅が増大し、これにより非線形光学効果の増大が予測される。実際、CdSe QDs を挟んだ垂直型微小共振器を用いて 3 次の非線形光学効果の増大が報告されている³⁾。今回作製した垂直型微小光共振器においても 3 次の非線形光学効果の増大が起これらと思われるため、非線形光学現象について測定する予定である。

参考文献

- 1) 横山 弘之：応用物理 61, 890 (1992)
- 2) T. Yamautchi, Y. Arakawa and M. Nisioka: Appl. Phys. Lett. 58, 2339 (1991)
- 3) N. Tsurumachi, M. Abe, M. Arakawa, T. Yoda, T. Hattori, J. Qi¹, Y. Masumoto and H. Nakasuka: Jpn. J. Appl. Phys. 38, L1400 (1999)

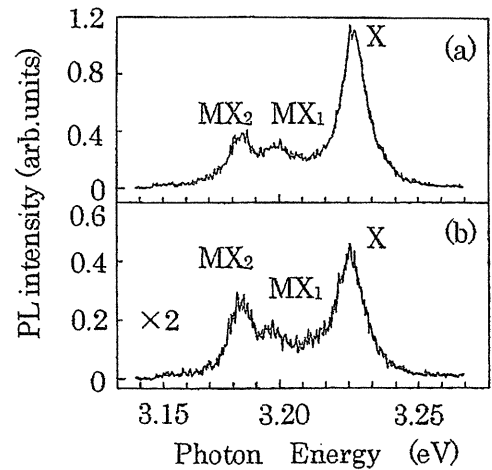


図 2 上部 1 層の発光スペクトル
(a) 垂直型微小光共振器
(b) CuCl QDs in SiO₂

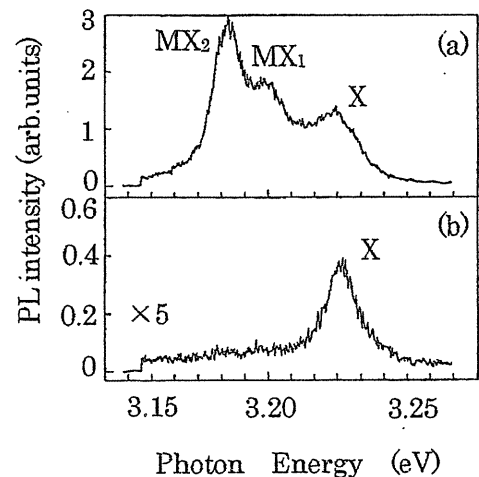


図 3 上部 2 層の発光スペクトル
(a) 垂直型微小光共振器
(b) CuCl QDs in SiO₂

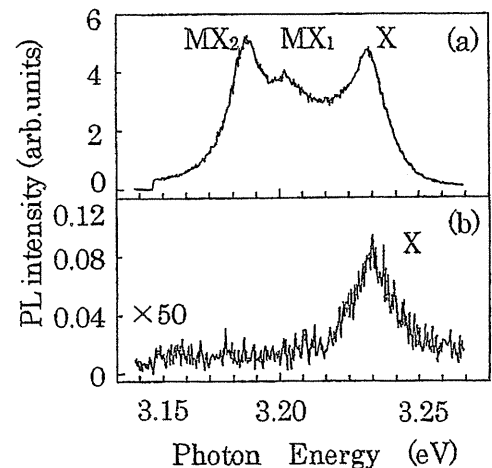


図 4 上部 4 層の発光スペクトル
(a) 垂直型微小光共振器
(b) CuCl QDs in SiO₂