

「量子効果等の物理現象」

平成9年度採択研究代表者

小倉 睦郎

(電子技術総合研究所 主任研究官)

## 「原子層制御量子ナノ構造のコヒーレント量子効果」

### 1. 研究実施の概要

有機金属気相成長 (MOCVD) 法において、3族及び5族の原料ガスを交互に供給することにより原子層ごとに制御された量子ナノ構造 (細線、ドット及びそれらの超格子) を作製し、それらの光学、電子特性を計測及び、シミュレーションにより検証するとともに、量子準位のコヒーレントな結合効果を利用した、非線型光学素子や論理演算素子を実証する。

### 2. 研究実施内容

量子細線、量子ドット等に特有の量子現象を発現させるためには、1原子層程度のサイズゆらぎが許容できない。そこで1原子層ごとに3族と5族を交互に成長する流量変調法を形状基板に適用することにより、原子層オーダで形状を制御した量子ナノ構造を作製する。

本研究の目的は、これらの量子ナノ構造において特有な物理現象を探索し、有用な機能を発現させることにある。低次元構造により電子の散乱過程が大幅に抑えられ、量子状態が時間的、空間的にコヒーレントに結合することが可能になると、非線形効果の増大、結合量子細線からの量子ビートによるテラヘルツ電磁波放射やブロッホ振動が期待できる。最近の積層量子細線の発光特性は、細線間に電子準位間の直接の結合が存在しなくても、フォトンの電磁場を介して異なる細線間のエキシトンが結合する効果 (ポラリトン) の存在を示唆している。半導体ナノ構造においては、電界等の引加により量子レベルを変化させることが可能であることから、コヒーレントな量子効果を能動的に制御することができる。すなわち、コヒーレント結合系における高効率な光から電子状態、あるいはその逆過程を制御することにより、光の放射、異常分散特性等、マクロな効果を引き出す。

平成10年度においては、量子細線構造における構造揺らぎの評価および制御、と量子構造デバイスの製作を行った。

#### 2-1 構造揺らぎの評価および制御

量子ナノ構造において理論的に予測された諸特性を発現させるためには、形状揺

らぎの制御が極めて重要である。提案時において当グループでは AlGaAs 系量子細線の MOCVD 選択成長において Ga と As を交互に供給する流量変調法を適用することにより自己停止機構を見出した。作製した量子細線の発光および吸収特性は急峻かつ明瞭なサブバンド構造を示し、当グループで作製した量子細線が世界的に見ても最高水準にあることが明らかになった。また、顕微分光法による励起領域 1  $\mu\text{m}$  程度の局所測定では、細線内の量子レベルは、発光半値幅 0.2meV 程度の数本の極めて急峻なピークに分裂している。

本プロジェクトにおいて、顕微励起フォトルミネセンス ( $\mu\text{PLE}$ ) および顕微ライフタイム測定を行なったところ、これらの急峻なピークは、それぞれ高次のサブバンド構造を有し、V溝沿った長さ数 10~100 nm 程度に拡張された量子ドットであることが明らかになった。更に V溝基板の平坦性をレジスト除去後の追加エッチングにより向上させた結果、量子ドットの長さが数百 nm 程度まで拡張されていることが判明した。ライフタイム測定では、長い量子ドット程ライフタイムが短くなる傾向が観測された。コヒーレント体積増加による双極子モーメントの増大によると思われる。また、量子細線を垂直方向に積層した超格子構造においては、その間隔が電子波動関数の広がりよりも十分離れた 100 nm 程度ごとの積層構造においても新たな発光ピークが現れ、孤立量子細線とは異なった蛍光寿命を示している。量子細線の均一性が向上するにつれ、マクロ PLE スペクトラムにおける基底レベル吸収が消失し、スペクトラムが鋸歯状からやや階段状に変化するなど、物性的にも興味深い現象が現れている。

## 2-2 量子構造デバイス

本研究の狙いは、電子と光のコヒーレントな相互作用を利用した新たなデバイス機能の抽出であるが、その準備段階として、平成 10 年度は、量子細線レーザと量子細線 FET を試作した。量子細線レーザにおいては、3重量子細線を活性層、P および N 型 AlGaAs 層をクラッド層とし、細線に沿って光共振器を形成した単純な構造のものであるが、基底レベルからの室温発振を世界で初めて実現した。実際、共振器長の短い場合や、短パルス発振時には、従来の報告と同じく高次サブバンドからの発振が優勢となり、レーザ発振モードを解析することにより、室温においても各サブバンドレベルでの状態密度や双極子強度の推定が可能になる。電子デバイスにおいては、電子線露光装置を用いて、50nm ゲート長の InGaAs / AlInAs 細線 FET を作製した。現時点では 200nm 程度に渡って原子層レベルで均一な量子細線が形成されたと考えられるが、均質な量子細線に電極を形成する目処が付いた。

## 3. 研究成果の発表 (論文発表)

○王学論, 小倉睦郎, 松畑洋文

“Self-limiting effect of flow rate modulation epitaxy of GaAs on patterned substrate” ,

Journal Crystal Growth 195, (1998) 586-590.