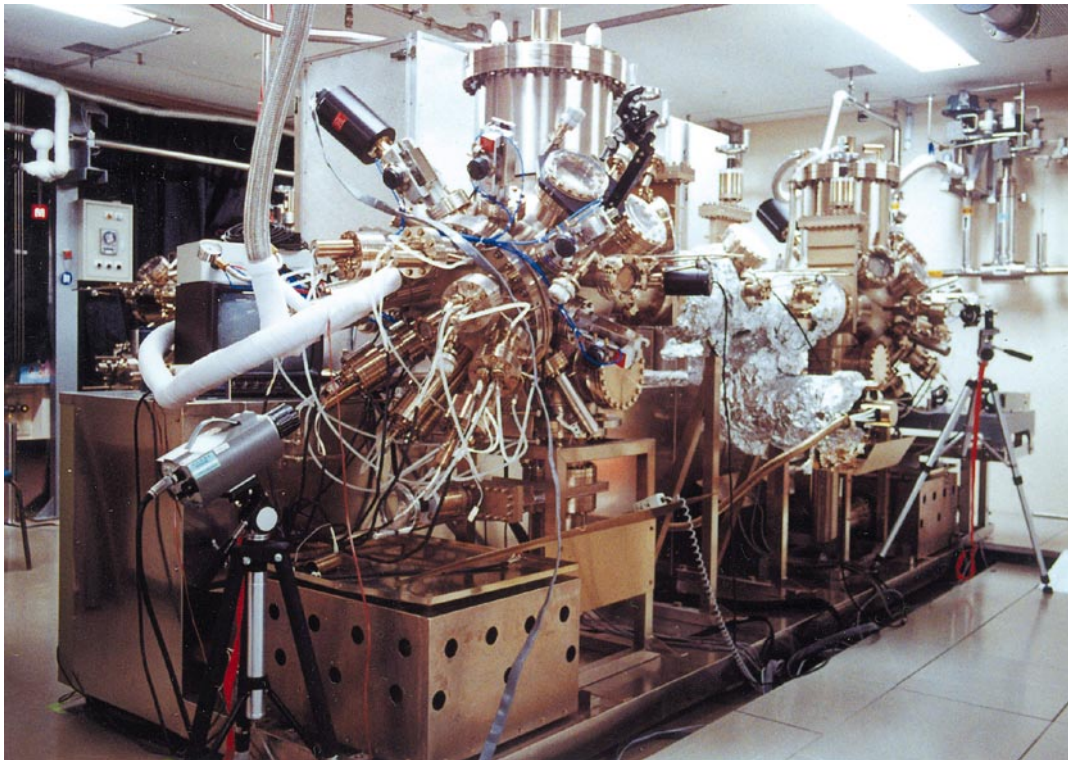


Research on Quantum Dot Network Structure Semiconductors 量子ドット網構造半導体の研究

プロジェクトリーダー 堀 越 佳 治

早稲田大学 理工学部 教授



1. 研究の目的

光エレクトロニクスや半導体エレクトロニクスに変革をもたらす新しい原理、現象、材料の発見を目指しています。とくにポスト LSI と呼ぶにふさわしい集積度と機能性をもつ半導体材料を実現することが本プロジェクトの大きな目標です。このために量子効果を生じるような半導体微細構造を光導波路や量子細線で接続してネットワークを形成し、ネットワーク内で生じる光学的あるいは電気的な相互作用を利用した新しいデバイスの開発を目指します。これまでも LSI の限界を超えるデバイスとして、量子効果を利用した低次元電子デバイスが提案されてきました。しかし実現にはまだほど遠い状況です。現在使用可能な技術では、これらの量子効果デバイスが本来必要とする構造的、質的精度を実現できないことが大きな原因です。近年のエピタキシャル成長技術の進歩により、基板に垂直な方向、つまり成長方向に関しては原子のスケールで厚さの制御ができるようになりました。これに対し、水平方向の幅の制御には一般にエッチングやイオン注入技術が使われますが、寸法精度は低く、さらに加工による損傷のため半導体の特性は著しく劣化します。

そこで本プロジェクトでは、垂直方向、水平方向ともに原子スケールの寸法精度と平坦性を持ち、かつ無損傷の製作技術確立します。また不純物分布に関しても原子スケールの精度を狙います。選択エピタキシャル成長技術と、これに伴って出現するマイクロファセットを制御する技術の開発がこれを実現する最も有望な手段と考えています。これらの技術の開発は、私たちがこれまでに発展させてきた新しい結晶成長技術であるマイグレーション・エンハnst・エピタキシャル (MEE) 法を中心に展開します。これらの技術によって、半導体ウエハ上に品質の高い光導波路ネットワークや量子細線ネットワークを製作し、上記の研究を展開します。

2. 研究の内容

本プロジェクトでは、まず半導体基板の広い領域にわたって高い品質の光導波路ネットワークおよび量子細線ネットワークの製作技術を確立します。ここでいう光導波路ネットワークは、半導体レーザ、光検出器、光混合器などの独立したデバイスを、低損失光導波路で有機的に結びつけた構造を、また量子細線ネットワークは、微小pn接合、共鳴トンネル接合などのデバイスを、電子量子細線、および電子・正孔量子細線で結びつけた構造をもっています。このようなネットワークにおける電氣的、光学的相互作用の研究を展開し、新しいデバイス開発の糸口をつかみたいと考えています。具体的な研究内容は次の通りです。

(1) 低次元構造およびネットワーク製作技術の研究

この研究は本プロジェクトの基盤をなすものです。選択エピタキシャル成長法と成長に伴って現れるマイクロファセットを制御する技術を開発することがこの研究のねらいです。ファセットは原子スケールで見ても平坦な面となるため、微細構造の側面を形成するのに最適です。しかし必要な場所に必要なファセットを作ることは容易ではありません。MEE法を駆使することにより、基板に垂直な、よく制御されたファセットを作ることになりました。現在ファセット構造の微細化の研究を進めています。

(2) ネットワーク上の個別デバイスの研究

ネットワークは、いろいろな微小デバイスを光導波路や量子細線で結合した構造を基本とします。このような微小デバイスは高密度に配置されるため、とくに高い品質が要求されます。たとえば光導波路ネットワークでは半導体レーザは重要なデバイスですが、平坦性のよいファセットを共振器鏡として利用することにより、きわめてしきい値の低い微小三角形レーザを実現しました。このほか、微小光検出器、微小共鳴トンネルダイオードなどの研究も進めています。

(3) 低損失光導波路の研究

エピタキシャル成長によるファセットを利用することにより、矩形断面を持つ光導波路の研究を進めています。これまでに、直線導波路については散乱のきわめて少ない光導波路を作ることになりました。しかし屈曲や分岐を含む導波路については散乱が多く、現在これを軽減する研究を進めています。

(4) 量子細線の研究

量子細線は量子細線ネットワーク中の微小デバイスを結合する役割を持っています。量子細線としては、電子ばかりでなく電子と正孔の両方をキャリアとするものについても研究を進めています。電子・正孔共存系では、薄い絶縁層を挟んで電子のチャンネルと正孔のチャンネルが共存しており、二つのチャンネルの間に働くクーロン相互作用が新しい効果を生むのではないかと期待しています。

(5) ネットワーク新材料の開拓

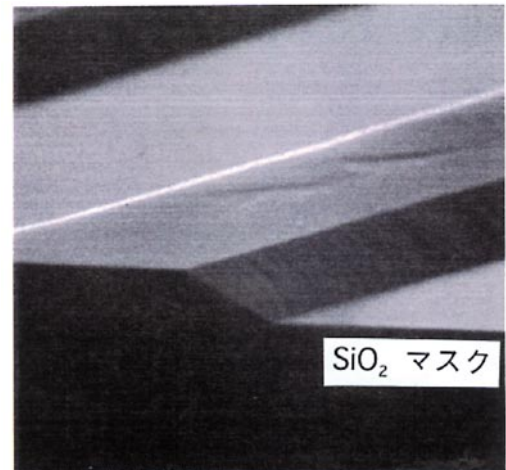
現在はGaAs/AlGaAsを材料としてネットワークの研究を進めていますが、光導波路ネットワークにおける短波長化、光混合における波長の自由度の増大などをねらい、ワイドギャップ半導体の研究を進めています。また量子細線における電子濃度、および電子移動度の増大を求め、InAsをはじめとする他のIII-V族化合物半導体の研究を進めています。

3. 研究の体制

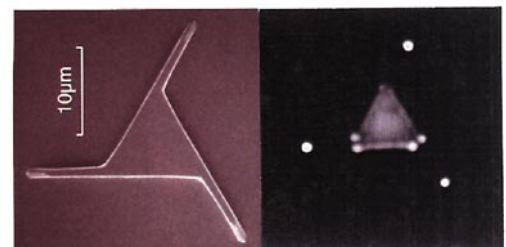
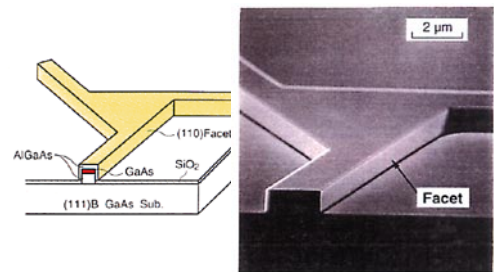
期 間：1996年10月～2001年3月

構 成：プロジェクトリーダー1名、コアメンバー3名、研究協力者25名

実施場所：主拠点は早稲田大学理工学部堀越研究室ですが、東京大学物性研究所安藤研究室、東京工業大学理学部吉野研究室、およびNTT基礎研究所材料物性研究部平山研究グループ、同物質科学研究部小林研究グループと協力してプロジェクトを進めています。



MEEによるGaAs選択成長（幅3ミクロン）



三角形ファセットレーザ

