

ナノ構造の新規半導体デバイスの開発

本研究は日亜寄附講座において H18～H22 年度の予定で実施されているもので、半導体のナノスケールの構造制御により、光と電子系との融合を図ることによって、光通信・光情報処理などのための高機能な新規光・電子デバイスの開発を行うことを目標としている。平成20年度の研究課題と成果概要を4項目に分けて述べる。

(1) 超高速光スイッチのための InAs 量子ドットの分子線エピタキシー法による作製

半導体量子ドット(QD)は離散的状態密度をもつことから、優れた非線形光学応答特性を持つと期待されている。実用的観点からは GaAs 基板上への 1.5 μm 帯の QD の実現が望まれており、また、超高速光スイッチに利用する上で、高速なキャリア緩和が望まれている。これらの特性を実現するため、本研究では GaAs 基板上の歪緩和 InGaAs 層に埋め込んだ InAs 量子ドットの作製とその評価に関する研究を行った。その結果、1.5 μm 帯に吸収を持ち、十数ピコ秒のキャリア緩和時間の量子ドットを作製することに成功した。この高速なキャリア緩和時間は、歪緩和層における格子欠陥由来しているものと考えられる。量子ドットの均一化や更なるキャリア緩和の高速化など特性向上を図っていく。

歪緩和 InGaAs 層に埋め込んだ InAs 量子ドットの作製とその評価に関する研究を行った。その結果、1.5 μm 帯に吸収を持ち、十数ピコ秒のキャリア緩和時間の量子ドットを作製することに成功した。この高速なキャリア緩和時間は、歪緩和層における格子欠陥由来しているものと考えられる。量子ドットの均一化や更なるキャリア緩和の高速化など特性向上を図っていく。

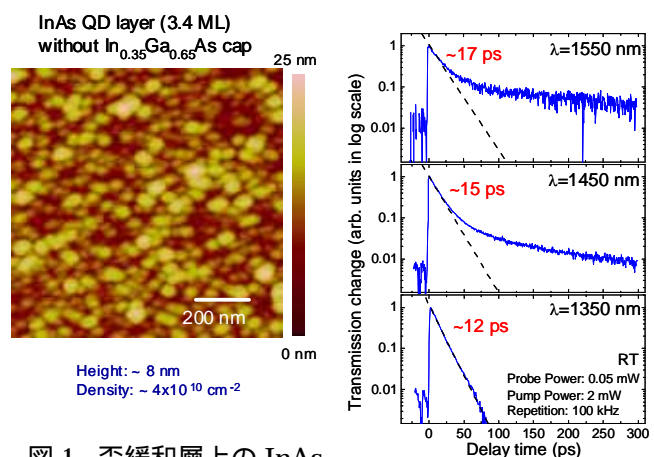


図1. 歪緩和層上の InAs 量子ドットの原子間力顕微鏡像

図2. 量子ドットの時間分解透過率変化

(2) 半導体多層膜微小光共振器構造の光電場増大と光学応答特性

全光スイッチは電子デバイスの動作速度を超える超高速動作が期待され、高効率な非線形光学応答が求められている。 $\lambda/4$ 層厚で屈折率の異なる2種類の膜を周期的に積層した多層膜構造は DBR 膜として知られるが、そのストップバンドの端の透過モードや、中央に $\lambda/2$ 層をもつ多層膜構造の微小共振器構造では、透過モードの光の電場強度が増大し、非線形光学応答を高めること

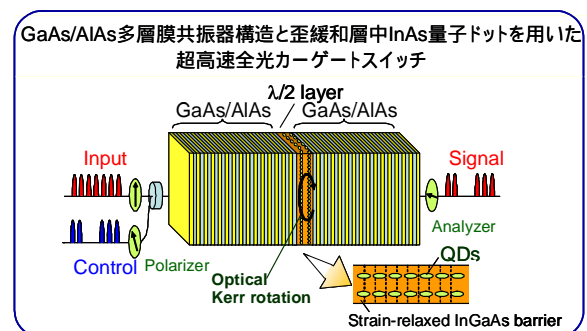


図3. 超高速光カーゲートスイッチ

*日亜化学工業 共同研究員

ができる。半導体微小共振器構造を使って、高効率な非線形光学応答を得ることができることをシミュレーション計算により明らかにし、微小光共振器構造と量子ドットを用いた面型超高速光カーゲートスイッチを考案した。GaAs/AlAs 多層膜による微小共振器構造において、透過パルスの時間形状や、非線形透過率変化や光カー効果の共振器 Q 値依存性などの特性について実験的に明らかにした。これらの知見を踏まえ、量子ドットを用いた微小光共振器構造による全光スイッチの開発を進めていく。

(3)半導体微小共振器構造による新奇光デバイス

二つの微小光共振器を結合すると二つの共振器モードが生じ、二次非線形光学効果によって周波数混合信号が発生できる。この差周波はテラヘルツ帯であるので、この結合共振構造による大きな内部光強度と二次の非線形性を利用することによって、新たなテラヘルツ光発生素子の創出が期待できる。高指数面基板上に GaAs を共振器層とした結合微小光共振器構造を作製し、フェムト秒パルス照射による第二高調波と和周波を観測し、周波数混合信号の発生を確認した。今後、テラヘルツ光の観測に取り組み、高効率な発生素子の開発を目指す。

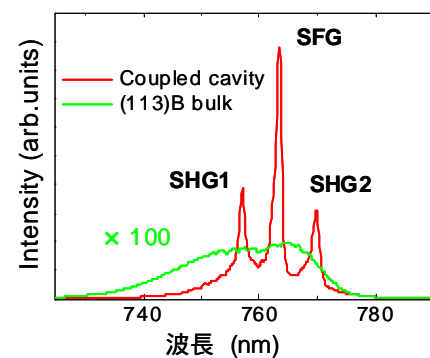


図 4 . 結合微小光共振器からの周波数混合信号

(4)走査プローブ法による新規なナノ構造の作製技術の開発

走査プローブを用いた半導体表面のナノスケールの加工方法の開発を進めている。走査プローブからの電流注入による陽極酸化とその酸化膜をマスクとしてエッチング加工する方法により、シリコン表面に光学回折格子を作製した。また、極めて薄いレジストを走査プローブで直接スクラッチ加工により除去し、エッチングによりパターン形成するメカニカルリソグラフィの技術開発を行い、シリコン上の金薄膜と、GaAs 表面の格子状加工を行った。いずれの方法においても周期 1 μm 程度、深さ数 10 ~ 100nm 程度の微細加工は問題なく出来ている。今後、加工の大面積化、速度と均一性の向上、加工精度の微細化などを図るため、プローブとカンチレバーの改良、新たなプローブ機能の開発など、さらなるナノ構造の加工の可能性を追求していく。

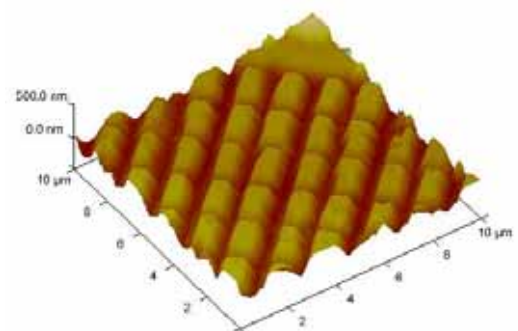


図 5 . シリコン上の金薄膜の格子状加工表面の原子間力顕微鏡像