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たもので、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２２年度の研究課題と成果概要を述べる。

(1)量子ドットと多層膜共振器構造による超高速全光スイッチ

本研究では GaAs 基板上の歪緩和 InGaAs 層に埋め込んだ InAs 量子ドットと GaAs/AlAs 多層膜からなる微小光共振器構造を用いて、超高速動作の全光スイッチの開発を行っている。昨年度までに、試作した素子構造に対して動作パワー 6.5μJ/cm² で、応答速度 2.0ps、消光比 18dB の光カースイッチ信号を得られているが、特性向上のために、量子ドット特性の改善を図った。InAs 量子ドットに Er ドープすることにより、キャリア緩和時間 3ps という超高速化を達成し、この量子ドットを用いた素子構造において、4ps の半値幅の可飽和吸収信号を得ることができた。(図１) 低パワー動作可能な面型超高速光スイッチとして応用展開が期待できることを示すものである。

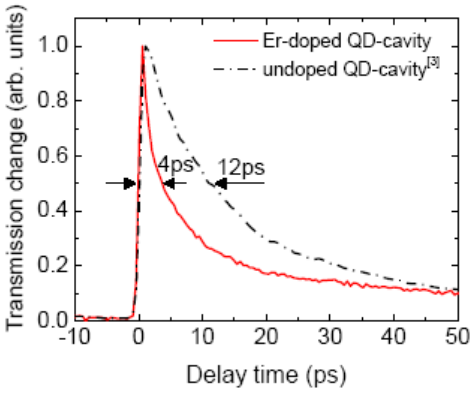

図1. Er ドープ量子ドットを含む微小共振器構造の透過変化信号

(2)結合共振器構造による周波数混合信号発生

室温動作で電流注入によりテラヘルツ光を発生する素子を提案し、その原理検証をすすめている。二つの共振器モードをもつ半導体微小結合共振器構造を利用し、半導体への電流注入によって共振器モード光の強い光電場強度を生成し、その差周波発生によりテラヘルツ光の発生を行う素子である。(図２)　これまでに、結合共振器構造へのフェムト秒パルス照射により周波数混合信号として和周波発生を確認していたが、テラヘルツ帯の差周波発生の観測とともに、高効率な発生のための素子構造についての検討を進めた。時間領域分光法を用いたテラヘルツ波電場の時間分解測定系を

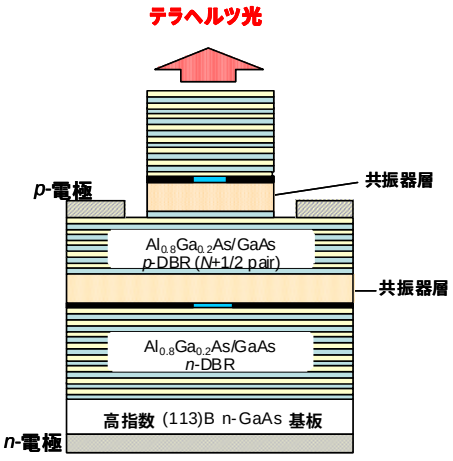

図2. 半導体多層膜結合微小共振器構造によるテラヘルツ光発生素子の模式図

*日亜化学工業 共同研究員

新たに構築し、フェムト秒パルス光照射によりテラヘルツ波の発生が確認できた。(図３)　また、内部の光電場の振る舞いの解析から、非線形分極の空間構造制御が必要なことを明らかにし、ウエハ融着法による構造作製技術の開発を行なった。今後、電流注入による二つの共振器モード光発生に取り組み、簡易なテラヘルツ光発生素子の実現を目指す。

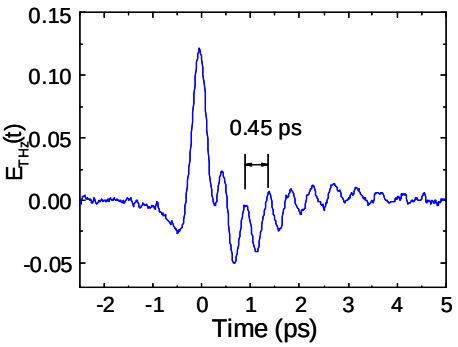

図 3. 差周波発生によるテラヘルツ波電場の時間分解測定結果

(３)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行なってきた。走査プローブからの電流注入による陽極酸化と化学エッチングにより、基板上に描画する手法である。シリコン基板に表面プラズモンポラリトン励起素子として位相シフト光学回折格子の作製を行った。回折格子構造を作製後、次に熱酸化法によりその表面に SiO_2 膜を形成し、さらに金属薄膜を表面に堆積した。高い加工精度で光学回折格子が作製できており(図４)、表面プラズモン励起用カプラーとして良好な光学回折特性を持つことが確認できた。

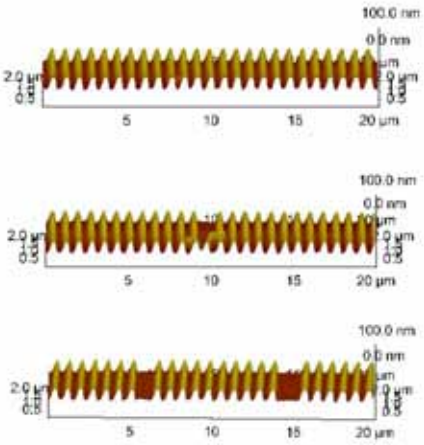

図 4. プローブ顕微鏡により作製した位相シフト光学回折格子の AFM 像

また、プローブスクラッチ加工法によるナノ構造ッチ加工に適したカンチレバープローブの開発を行ない、Si 基板からフォトリソグラフィとエッチングによりカンチレバーを作製した。これらのナノ構造加工技術は、今後、新たな表面プラズモン素子の作製などへ応用展開を図っていく。