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 H23～H27 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新たな機能を創出し、新規な高機能光デバイスの開発を行うことを目標としている。第 1 期寄附講座（H18～H22 年度）の成果を引き継ぎ、光学非線形性を応用した新規な光デバイスの開発を実施している。以下に平成 23～24 年度の研究課題と成果概要を述べる。

(1) 半導体多層膜微小共振器構造と半導体量子ドットによる非線形光学素子

GaAs 基板上の歪緩和 InGaAs 層に埋め込んだ InAs 量子ドット(QD)は、超高速光スイッチに利用する上で必要な、優れた非線形光学応答特性と超高速緩和特性を持つことをこれまでに明らかにしてきた。この Er ドープ InAs 量子ドットを多層膜共振器構造の共振器層に組み込むため、結晶成長条件や多層膜共振器構造の適正化を図った。InAs 量子ドット層を AsAs 共振器層に挿入した共振器構造において、低速緩和成分がほとんどなく、1ps の超高速応答速度を示す可飽和吸収特性を得た。今後、光スイッチ特性の検証に向けて研究を進めていく。

(2) 半導体結合共振器構造によるテラヘルツ光発生素子

電流注入により室温で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。これは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二つの共振器モードの強い光を生成し、その差周波生成によりテラヘルツ光の発生を行う素子である。これまでに、結合共振器構造へのフェムト秒パルスレーザ照射によりテラヘルツ帯の差周波発生を観測するとともに、高効率な発生のために素子構造として非線形分極の空間構造制御が必要なことを明らかにしてきた。二つの共振器モード光の発生のために、利得層として InAs 量子ドットを含む結合共振器構造による二波長面発光レーザを(001)基板上に作製し、光励起による二波長発振を観測した。図 1 はその発光スペクトルを示す。今後、二次非線形性を有する(113) 基板上結合共振器構造のウエハ融着による作製を進めるとともに、電流注入による二つの共振器モード光発生に取り組み、

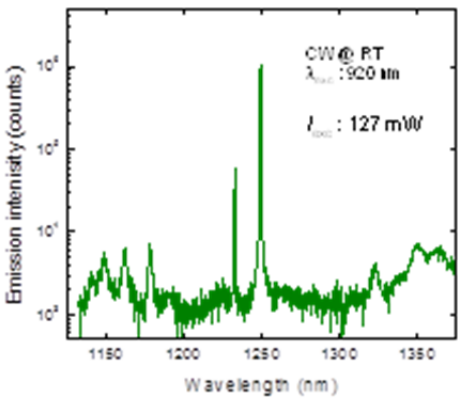

図 1．InAs 量子ドットを含む結合共振器構造からの発光スペクトル

*共同研究員

簡易なテラヘルツ光発生素子の実現を目指す。

(3) 半導体/ 空気多層膜構造による非線形光学素子

多層膜共振器構造における非線形光学応答信号は、共振器を構成するDBR膜の積層数を増加することや、DBR膜を構成する材料の屈折率差を大きくすることで、そのQ値とともに大きくすることができるが、同じQ値でも屈折率差の大きなDBR膜を用いた方が、より大きくなる。このため、GaAs/Air多層膜を使えば、同程度のQ値のGaAs/AlAs多層膜に比べ2桁程度大きな光カー信号が期待される。新たな非線形光学応答を利用した素子の創製に向けて、GaAs/Air多層膜共振器構造の作製を試みた。GaAs(001)基板上にGaAs/ AlGaAs多層膜構造を分子線エピタキシー法により作製し、その一部に開口部を設け、そこから選択ウエットエッチングによりAlGaAs層を除去して、GaAs/AirDBR膜からなる共振器構造の作製を試みた。図２はその断面のSEM観察像である。犠牲層のサイドエッチングが10 μm程度まではGaAs層が固着や剥離せずに作製できることがわかり、良好な反射率スペクトルを持つ構造が作製可能であることが分かった。今度、作製工程の改善とともに光学特性評価を進めていく。

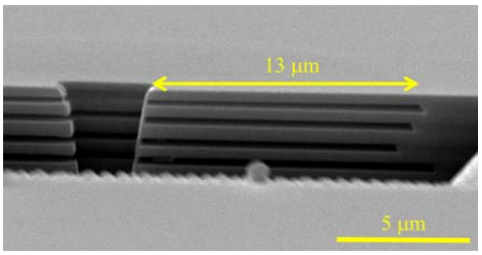

図２．GaAs/Air 多層膜共振器構造の断面 SEM 像。

(4) 走査ナノプローブによる微小光素子の作製

表面プラズモン励起用チャープグレーティングを、走査ナノプローブによる陽極酸化リソグラフィを用いて作製した。図 3 はその表面の AFM 像である。フラウンフォーファ回折パターンの観測により、チャーピング効果により生じた光学回折帯に応じた表面プラズモン励起帯が確認された。チャープグレーティングについては電子線リソグラフィによっても作製し、同様な特性を観測している。また、表面プラズモンの二波長同時励起やベクトルセンサーへの応用について検討し、オーバル回折格子プラズモン素子の作製し光入射方向によるプラズモンの励起入射角の相違を確認した。今後は、昨年度より取り組んでいる図 4 に示すようなメタフォトニック結晶を中心とした微細構造光学素子の提案と開発を進めてゆく。

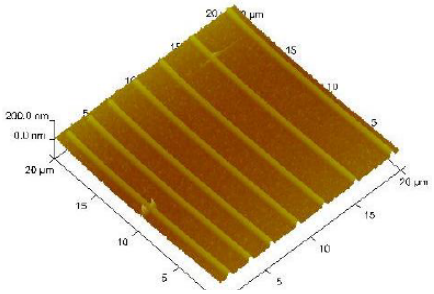

図3．走査ナノプローブ加工により作製したチャープグレーティング

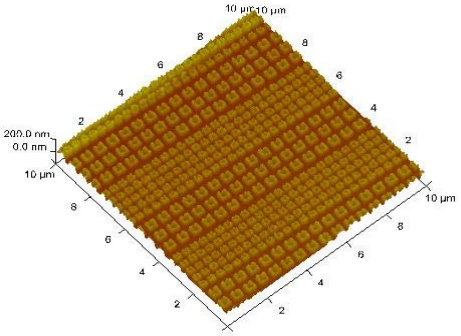

図4．EB リソグラフにより作製した 1 次元メタフォトニック結晶