

自己評価報告書

平成23年 4月 18日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012年度

課題番号：20104004

研究課題名（和文）低次元半導体レーザーの低しきい値光学利得と高速光非線形性

研究課題名（英文）Low-threshold optical gain and high-speed optical nonlinearity in low-dimensional semiconductor lasers

研究代表者 秋山 英文

（アキヤマ ヒデフミ）

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：40251491

研究分野：数物性科学 / 工学

科研費の分科・細目：物理学 物性 I / 電気電子工学 電子・電気工学

キーワード：半導体物性・高性能レーザー・量子閉じ込め・MBE、エピタキシャル・量子細線

1. 研究計画の概要

本研究では、界面品質や構造均一性が著しく高く非常にシャープな発光線幅を有する半導体1次元量子細線および2次元量子井戸を用いて、高品質かつ高度に制御された低次元半導体レーザーを構成し、クリーン低次元電子正孔系の光学応答における多体動的電子相関効果を、電子および正孔の濃度、キャリア温度、光子系との結合を精密に評価・制御しつつ調べ、多様な動的電子相関相、光学応答特性、それらを制御して得られる新しい光機能などを探索し理解することを主目的としている。さらに、超高密度励起下における半導体量子井戸レーザーの非線形現象・非線形光学効果の研究を進め、動的電子相関効果が高速現象・高速デバイス動作や非線形光学効果にいかなる寄与をするかを抽出し、理解制御する。

2. 研究の進捗状況

発光および発光励起スペクトルの精密計測による半導体中キャリア温度の絶対評価が達成された。吸収と発光のスペクトル間に成立するケナード・ステファノフ関係式(KS関係式)という基礎関係式を用いて、黒体輻射の場合と同様、モデルや物質パラメータを仮定することなくキャリア温度評価を行うことが可能であることを発見し、例証実験に成功した。

電流注入型量子細線レーザー素子および変調ドープ型量子細線レーザー素子を用いて、電子系・正孔系・電子正孔系の利得特性を、電荷中性および非中性の場合を含む任意の濃度かつ温度で調べた。T型細線の電子及

び正孔の量子閉じ込めの非対称性を反映して、電流注入時には構造に応じて電子過剰や正孔過剰のキャリア注入が起きること、そのため光励起で中性電子正孔対を励起した場合に比べて著しいスペクトルシフトとブロードニングが生ずることが解った。半導体ブロッホ方程式理論を用いて利得特性・スペクトルの計算を行い、実験との比較を行った。

マグネトロンスパッタリングによる誘電体多層膜形成および評価システムが整備された。また、MBE用真空チャンバー搬入、液体窒素断熱配管・気液分離器の設置・試運転が完了し、さらに真空ポンプほか各真空部品の評価・調整・更新作業が進んだ。

紫色・青色領域で発光するワイドギャップ半導体材料の励起と時間分解分光を行うため、電氣的同期が可能な紫外線領域のピコ秒パルス光源を開発した。高速応答の1.55 μm 帯分布帰還型半導体レーザーの利得スイッチング動作をもとにした増幅や波長変換により、最短の時間幅4 ps、最大ピークパワー200 Wの第4高調波光(波長387 nm)を得た。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

領域中間評価において、本計画研究に対する個別のコメントは無かった。本領域全体の進展状況について、『評価A』「研究は全体として順調に進展し、これまでの実績に加えて新たな研究成果が出始めている」という評価をいただき、また、今後の研究推進方策等について「個々の研究成果は十分に得られているが、研究領域全体としてもう少し研究をフォーカスすることが望ましい」「物質開発、

デバイス作成、測定、理論の間でさらに密接な連携を取りながら研究を進めて欲しい」との評価コメントを頂いた。

4. 今後の研究の推進方策

本課題では、実験的に得られた系統的理解を、領域内の研究者らと協力して、光と半導体に関わる新しい光科学・物理の発展に有用な学理に引き上げる。本研究に直接対応するA04班小川らの「半導体レーザーの動的電子相関理論」とは、常時強い連携を保ちつつ協力して狙いを絞り比較検討を行う。A02班野村ら、A03班金光ら、A04班鈴浦の研究とは物理や材料の面で相補的な関係があるので、比較・対比を通じて普遍的理解を得る。材料化学が専門のA03班の計画・公募研究メンバーと連携し、動的電子相関効果を活かす上で最適な新材料系を探索し、新材料光デバイス形成の道を拓きたい。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計13件)

1) M. Okano, M. Yoshita, H. Akiyama, P. Huai, T. Ogawa, L. N. Pfeiffer, and K. W. West, "Coulomb-modulated gain spectra in current-injection T-shaped quantum-wire lasers", Phys. Status Solidi C, 20-23 (2011).

2) Aya Sato, Shunsuke Kono, Kyosuke Saito, Kiichi Sato, and Hiroyuki Yokoyama: A high-peak-power UV picosecond light pulse source based on a gain-switched 1.55 μm laser diode and its application for time-resolved spectroscopy of blue-violet materials, Optics Express, 18, 2522-2527 (2010).

3) Toshiyuki Ihara, Shun Maruyama, Masahiro Yoshita, Hidefumi Akiyama, Loren N. Pfeiffer, Ken W. West, "Thermal-equilibrium relation between the optical emission and absorption spectra of a doped semiconductor quantum well", Phys. Rev. B 80, 033307 (2009).

4) Masahiro Yoshita, Masaru Kuramoto, Masao Ikeda, and Hiroyuki Yokoyama: Mode-locking of a GaInN semiconductor laser with an internal saturable absorber, Applied Physics Letters, 94, 061104 (2009).

5) 横山弘之, 「高機能ピコ秒半導体レーザーによる多光子バイオイメージング」オプトロニ

クス, No.336, pp.54-58, 2009.

〔学会発表〕(計56件)

1) Shaoqiang Chen, Masahiro Yoshita, Toshimitsu Mochizuki, Hidefumi Akiyama, and Hiroyuki Yokoyama "Short pulse generation by gain switching in InGaAs QW ridge Laser under optical pumping" 日本物理学会第66回年次大会(新潟大学五十嵐キャンパス 2011/3/25-28) 25pHD-13

2) 岡野真人, 秋山英文, 金光義彦, Loren Pfeiffer, Ken West (京大化研, 東大物性研, Princeton Univ.) "磁場印加下におけるT型量子細線の発光励起スペクトル測定" 日本物理学会第66回年次大会(新潟大学五十嵐キャンパス 2011/3/25-28) 25pHD-12

3) 熊谷修, 横山弘之: 世界初100ワット出力青紫色超短パルス半導体レーザーの共同開発, 第3回東北大学国際産学連携シンポジウム, 東京, 2011年3月, 招待講演.

4) 吉田正裕, 岡野真人, 秋山英文, 懐平, 小川哲生 (東大物性研, 京大化研, 上海応物研, 阪大院理) "半導体量子細線における一次元電子正孔光学利得の静的遮蔽相互作用形状依存性" 日本物理学会第66回年次大会(新潟大学五十嵐キャンパス 2010/3/25-28) 25pHD-10

5) Hiroyuki Yokoyama: Development of highly functional semiconductor lasers and application for nonlinear-optic imaging and processing, School of EEE Nanyang Technological University IEEE Photonics Society Singapore Chapter Seminar, Singapore, Nov. (2010) (invited).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

なし