

半導体量子ドットを用いた狭線幅波長可変レーザー

Narrow line width wavelength tunable laser using semiconductor quantum dots

赤羽 浩一^A、山本 直克^A、菅野 敦史^A、稲垣 惠三^A、梅沢 俊匡^A、川西 哲也^A、遠藤 尚^B、友松 泰則^B、山野井 俊雄^B

Kouichi Akahane^A, Naokatsu Yamamoto^A, Atsushi Kanno^A, Keizo Inagaki^A, Toshimasa Umezawa^A, Tetsuya Kawanishi^A, Takashi Endo^B, Yasunori Tomomatsu^B, and Toshio Yamanoi^B

^A 情報通信研究機構, ^B 光伸光学

^ANational Institute of Information and Communications Technology, ^BKoshin Kogaku

Abstract

A narrow line width laser is required to achieve accurate remote sensing system. The external cavity wavelength tunable quantum-dot (QD) laser is a candidate for fabrication of a wide band wavelength tunable laser because of its wide band gain. In this paper we show a QD wavelength tunable laser with a narrow line width and wide band wavelength tunability. We also show the results which achieved two-wavelength emissions in the QD wavelength tunable laser by changing the external cavity configuration.

半導体量子ドット(Quantum dot: QD)は、0次元構造でのキャリア束縛にともなう量子サイズ効果が利用でき、その特徴を生かした高効率発光材料、光ゲイン材料として注目されている。我々はQDの有する構造等の不均一性を積極的に利用する広帯域動作に注目し、広帯域波長可変QD光源の研究開発、さらに、その開発したQD光源の応用技術に関する研究を進めている[1-4]。特に、波長1.0~1.3 μm 帯(T+Oバンド)で動作するQD光ゲイン材料に注目している。これは、同波長域にて、将来の光情報通信への利用が期待される70-THz近い広大な光周波数帯域が存在すること[4]、またバイオイメージング分野での利用が期待される高い生体透過特性を有することなどの理由による。本講演では、QD光ゲインデバイス開発のためのQD高品質化技術と、QDの特徴を生かした狭線幅広帯域波長可変光源の開発とその応用について示す。

QDを光デバイスに応用するとき、その高密度化や凝集構造抑制などを目的とした高品質化が重要となる。我々はQD形成直前の表面状態に注目したサブナノ層間分離技術(Sandwiched Sub-nano separator: SSNS)を提案している[1, 3]。本手法はGaAs基板上におけるInAs量子ドット形成の際、発光波長制御に用いるDot in Well構造を高品質化するためのものである。通常InAs量子ドットはInGaAs量子井戸層の上に直接成長されるが、歪などの影響により結晶品質が劣化することが多い。これに対してSSNS構造ではQD層と下地InGaAs層の間に数分子厚の分離層を挿入する。この簡便な方法により結晶品質の劣化が抑制され、さらにInAs量子ドット密度の大幅な向上が達成された(Fig. 1)。これにより1.2~1.3 μm で

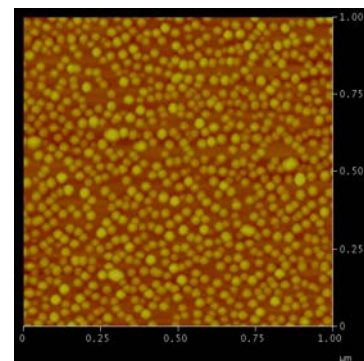


Fig. 1 Atomic force microscope image of InAs QDs grown by SSNS technique.

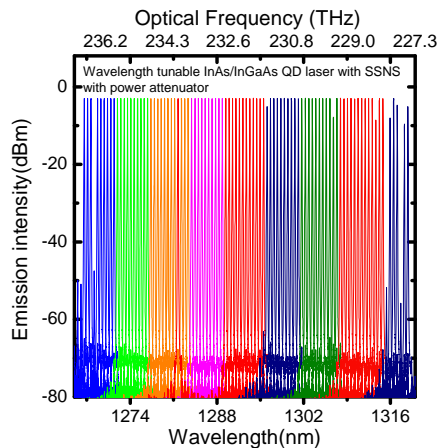


Fig. 2 Lasing spectra of broad band wavelength tunable QD laser.

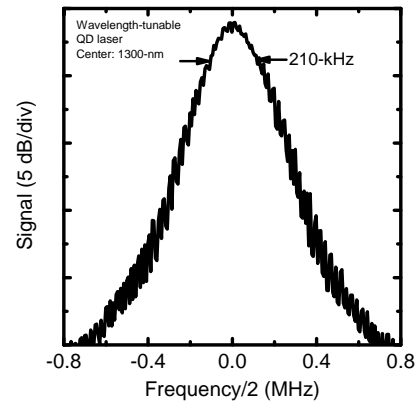


Fig. 3 Estimation result for narrow line-width of wavelength tunable QD laser.

発光する安定した QD 光ゲインデバイスの作製が可能となった。

前述の方法により高品質化した InAs 量子ドットを活性層に有するリッジ導波路型 QD レーザを作製し、これを波長可変レーザに応用した。波長可変レーザは前述の技術で形成した QD ゲインチップとエタロン、広帯域狭線幅波長可変フィルターを組み合わせた外部共振器型レーザにより構成した。この際、QD 特有の広帯域光ゲイン特性や、波長に対する離散的な光ゲイン特性などを活用することで、①高い光周波数安定度 (~200kHz)の広帯域波長可変・狭線幅レーザ (Fig. 2、Fig. 3)、②単一素子からの等しい周波数間隔の安定した多波長発生を可能とする QD コムレーザ、③GHz 繰り返しでピコ秒級の光パルス列を広帯域波長可変 (~100nm)にて発生可能な短パルス光源がそれぞれ開発された[1]。これらの広帯域で動作する狭線幅 QD レーザはライダーをはじめとしたセンシング技術などへの応用が可能であると考えられる。さらに近年センシング技術においてテラヘルツ波、ミリ波は重要な周波数帯になる。これらの電磁波を発生する方法としては様々なものが提案されているが、2つの波長のレーザ光の周波数差を利用するものは室温動作が可能であるため、システムを簡素化できる。このような応用を念頭に上記の波長可変 QD レーザを改良し、100GHz 間隔の2波長を同時に発振するレーザを開発した。そのスペクトルを Fig. 4 に示す。2波長同時発振の原理は波長可変フィルターで抜き出すエタロンモードをちょうど2波になるように調整するというシンプルなものであるが、非常に安定的な2波長レーザ発振が得られた。この光源はミリ波、テラヘルツ波の発生に有用であると考えられる。

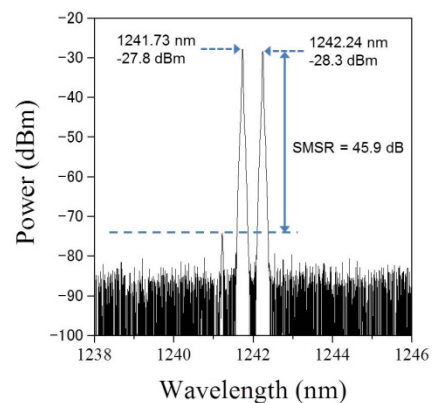


Fig. 4 Two wavelength lasing of wavelength tunable QD laser.

参考文献

- [1] N. Yamamoto, K. Akahane, T. Kawanishi, H. Sotobayashi, Y. Yoshioka, and H. Takai, Jpn. J. Appl. Phys. 51, 02BG08 (2012).
- [2] N. Yamamoto, K. Akahane, T. Kawanishi, R. Katouf, and H. Sotobayashi, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 04DG03 (2010).
- [3] N. Yamamoto, K. Akahane, T. Kawanishi, Y. Omigawa, H. Sotobayashi, Y. Yoshioka, and H. Takai, Opt. Express 19 (26), B636 (2011).
- [4] K. Akahane and N. Yamamoto, J. Crystal Growth 323, 154 (2011)