

一般セッション(口頭講演) | 3 光・フォトンクス：3.12 半導体光デバイス

2024年9月20日(金) 13:30 ~ 16:00 会場 A35 (朱鷺メッセ3F)

[20p-A35-1~9] 3.12 半導体光デバイス

太田 泰友(慶大)、下村 和彦(上智大)

13:30 ~ 13:45

[20p-A35-1]

部分的な利得領域を有する円形共振器のモード解析

○福嶋 丈浩¹ (1.岡山県立大情報工)

13:45 ~ 14:00

[20p-A35-2]

InP/Si 基板上SCH - MQW レーザの井戸層厚とボイド密度依存性

○黒井 瑞生¹、矢田 涼介¹、趙 亮¹、下村 和彦¹ (1.上智大理工)

14:00 ~ 14:15

[20p-A35-3]

中央配置可飽和吸収体量子ドットモードロックレーザの特性評価

○築瀬 智史^{1,2}、赤羽 浩一²、松本 敦²、梅沢 俊匡²、山本 直克²、前田 智弘^{1,2}、外林 秀之¹ (1.青学大理工、2.NICT)

14:15 ~ 14:30

[20p-A35-4]

単一CsPbBr₃ペロブスカイトナノ結晶の電界発光の観測○(DC)高木 虎之介¹、大曲 駿¹、バッハ マーティン¹ (1.東工大物質理工)

14:30 ~ 14:45

[20p-A35-5]

粒子加速器用10kV級SiC光伝導スイッチの応答速度評価

○川崎 泰介¹、安田 浩昌¹、吉田 光宏^{2,3,4}、ヤヒア ヴァンサン^{4,3}、平等 拓範^{3,4}、木村 重哉⁵、太田 千春⁵、宮崎 久夫⁵ (1.東芝エネルギーシステムズ、2.高エネ研、3.理研、4.分子研、5.東芝)

14:45 ~ 15:00

[20p-A35-6]

二波長注入された半導体光増幅器における光励起効果

○長沢 海斗¹、猪口 泰利¹、鄭 和翊¹ (1.東海大理)

15:15 ~ 15:30

[20p-A35-7]

静電噴霧法による量子ドット薄膜の作製とその評価

○原 郁弥¹、大谷 直毅¹ (1.同志社大)

15:30 ~ 15:45

[20p-A35-8]

シロキサン系樹脂を用いた熱制御転写プリント集積の検討

○赤星 颯麻¹、安池 伸夫²、西村 達哉²、岡田 敬²、藤田 晃成¹、太田 泰友¹ (1.慶大理工、2.JSR株式会社)

15:45 ~ 16:00

[20p-A35-9]

プラズマ表面処理を援用した転写プリント集積の検討

○(M1)立崎 裕真¹、赤星 颯麻¹、藤田 晃成¹、荒川 泰彦²、太田 泰友¹ (1.慶應理工、2.東大ナノ量子)

部分的な利得領域を有する円形共振器のモード解析

Mode analysis of a circular cavity with a partial gain region

岡山県立大 ○福嶋 丈浩

Okayama Pref. Univ., ○Takehiro Fukushima

E-mail: fuku@c.oka-pu.ac.jp

【はじめに】二次元の光共振器に閉じ込められた光線と波動の対応関係を調べることは学術的に興味深い研究課題である。これまで様々な形状を有する二次元共振器半導体レーザーが製作され、発振モードが調べられている[1,2]。しかしながら、リフトオフプロセスを用いてレーザーの電極を形成すると共振器の周辺部分にわずかな非励起領域が生じる。本研究では部分的な励起領域が円形共振器のモードに与える影響を数値計算により調べた。

【解析モデル】モード解析には有限要素法に基づく解析ソフトウェア COMSOL Multiphysics®を用いた。計算機のパフォーマンスを考慮してサイズの小さい共振器で解析を行った。具体的には、共振器の半径 R を $2.5\ \mu\text{m}$ に設定して、励起領域の半径 R_p が $1.5\ \mu\text{m}$ と $2.0\ \mu\text{m}$ の場合について計算を行った。共振器内部の屈折率 n は半導体レーザーを想定して 3.3 とし、共振器の外側の屈折率は真空を想定して 1.0 に設定した。励起領域の利得は消衰係数（複素屈折率の虚部）に負の値 ($-\kappa$) を設定することで取り入れた。ここでは、 κ の値を利得係数と呼ぶことにする。解析領域は $8.4\ \mu\text{m} \times 8.4\ \mu\text{m}$ の正方形とし、四隅を散乱境界条件に設定した。共振器モードは GaAs 半導体レーザーの発振周波数に相当する 350 THz 付近で探索した。

【解析結果】図 1 に励起領域の半径 R_p が $1.5\ \mu\text{m}$ と $2.0\ \mu\text{m}$ の場合のウィスパーリングギャラリモードの共振周波数虚部 f_i (モード損失) と利得係数 κ の関係を示す。挿入図 (モードパターン) の下に示した m の値は半径方向の次数を表している。次数が低いモードほど共振器の外側に光が分布し、次数が高くなると共振器の内側に光が分布することがわかる。光線軌道で考えると次数が低いモードは共振器の境界に対する入射角が大きく、次数が高くなるほど入射角が小さくなる。利得係数 κ がゼロの時の f_i の値を見ると m の値が 10 を超えると急激に大きくなる。これは、光線の入射角が臨界角より小さくなり、放射モードに変化することが原因である。次に、利得係数 κ が増加するとモードごとに異なった傾きで損失が低下する。共振器の外周付近に光が分布する低次モードは損失の低下が小さく、内側に光が分布する高次モードは損失の低下が著しい。また、励起領域の半径 R_p が小さくなると、より高次のモードでなければ損失の低下が起これないことがわかる。共振器外周付近の非励起領域はレーザー発振のモード選択に影響を与える可能性が高いと考えられる。

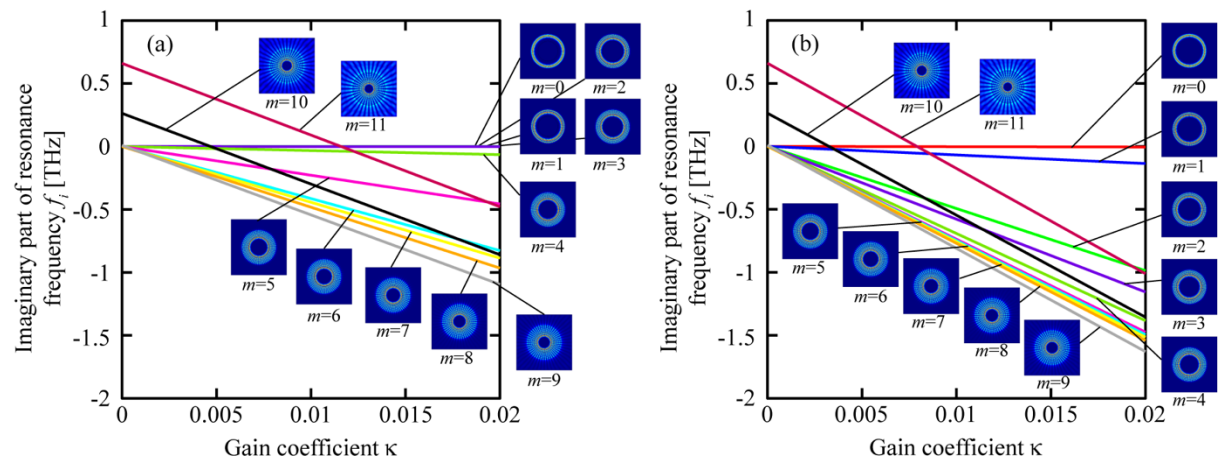


Fig. 1 Imaginary part of resonance frequency f_i versus gain coefficient κ for (a) $R_p=1.5\ \mu\text{m}$ and (b) $R_p=2.0\ \mu\text{m}$.

【参考文献】 [1] 福嶋丈浩, “解説 二次元共振器半導体レーザー”, 電子情報通信学会誌, vol. 94, no. 4, pp. 323-328, 2011. [2] T. Harayama *et al.*, “Two-dimensional microcavity lasers,” *Laser & Photonics Reviews*, vol. 5, pp. 247-271, 2011.

InP/Si 基板上 SCH – MQW レーザの井戸層厚とボイド密度依存性

Well thickness and voids density dependence for SCH-MQW laser diode on InP/Si substrate

上智大学 理工学部, 黒井瑞生, 矢田涼介, 趙 亮, 下村和彦

Sophia University, Mizuki Kuroi, Ryosuke Yada, Liang Zhao and Kazuhiko Shimomura

E-mail: kshimom@sophia.ac.jp

はじめに

5G、IoT、クラウドサービスの普及に伴い、情報量の飛躍的な増大が続くことにより、従来の電気配線から高速かつ大容量である光配線に置き換える光インターコネクションが注目されているが、その一つの解決策として、Si 基板に光デバイスを集積するシリコンフォトンクス技術が重要である。Si は間接遷移半導体であるため発光素子には向かないことから、本研究室では Si 基板上に InP 薄膜を直接貼り付けした InP/Si 基板を用いて InP 面にⅢ-V族デバイスを MOVPE 成長させる方法を提案している[1]。本研究では、量子井戸レーザの井戸層厚依存性について、InP 薄膜と Si 基板の貼付時に発生するボイドの影響を考慮して検討し、その結果について述べる。

実験方法

まず、親水性直接貼付法によって作製した InP/Si 基板の表面状態をノマルスキー顕微鏡を用いて観察し、ボイド占有率、ボイド密度の計算を行った。その後、InP/Si 基板上に MOVPE 法を用いて Fig.1に示すような SCH-MQW 構造を結晶成長した。成長温度は650℃、成長圧力は60Torr である。活性層は井戸層に0.5%の圧縮歪を加え、井戸層数を5層、障壁層を15nm、SCH 層を100nm とし、井戸層厚の異なるレーザを作製して発振特性の測定をし、井戸層厚依存性の検討を行った。また、InP/Si 基板上レーザにおけるボイドパラメータとしきい値電流密度の関係性についても検討した。

実験結果

Fig.2は、ノマルスキー顕微鏡で観察を行った井戸層厚6nm の InP/Si 基板上ブロードレーザのボイド密度としきい値電流密度の関係である。ボイド密度が低い基板ほど、しきい値が低下する傾向を確認した。Table.1は InP 基板および InP/Si 基板上に成長したレーザの T=20℃におけるしきい値電流密度の平均値と最低値である。InP 基板上レーザにおいて、井戸層厚が薄いほどしきい値電流密度の低下を確認し、最低しきい値電流密度は井戸層厚6nm レーザで0.76 kA/cm²であり、平均値は0.92kA/cm²であった。一方、InP/Si 基板上レーザでは井戸層厚18nm において最低しきい値電流密度は1.01 kA/cm²、平均値は1.78 kA/cm²であった。井戸層厚6nm のレーザと比較して、低い発振しきい値が得られており、InP 基板上レーザと異なる傾向を確認した。これは、InP/Si 基板作製時に発生するボイドによる表面状態が影

響していると考えている。

参考文献

[1] K. Matsumoto, J. Kishikawa, T. Nishiyama, Y. Onuki, and K. Shimomura, Jpn. J. Appl. Phys., vol.55, no.11, p.112201, 2016.

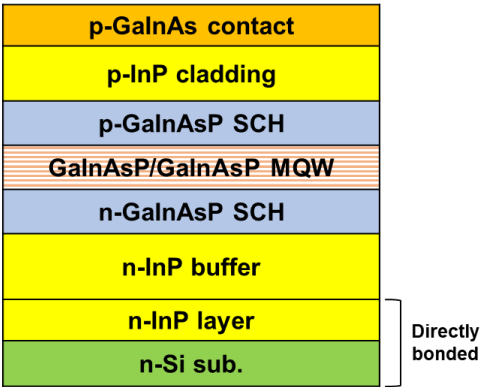


Fig.1 InP/Si 基板上 SCH-MQW レーザ

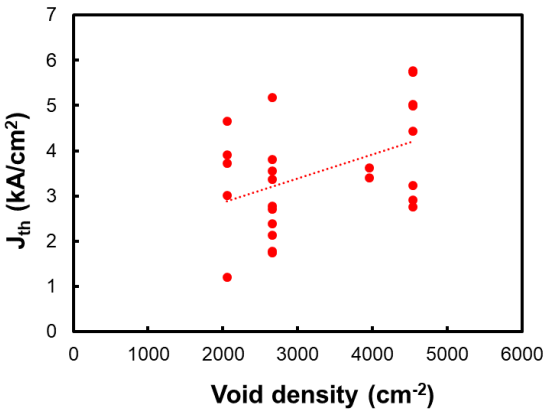


Fig.2 InP/Si 基板上レーザのボイド密度としきい値電流密度の関係

Table.1 InP および InP/Si 基板上レーザの井戸層厚ごとのしきい値電流密度

Well thickness (nm)	Threshold current density J _{th} (kA/cm ²)			
	InP		InP/Si	
	Average	Lowest	Average	Lowest
6	0.92	0.76	2.03	1.20
8	0.97	0.84	2.73	1.92
10	1.11	0.93	3.24	1.21
18	1.45	1.06	1.78	1.01

中央配置可飽和吸収体量子ドットモードロックレーザの特性評価

Properties of Quantum Dots Mode-Locked Laser Diode with Centered Saturable Absorber

青学大理工¹, NICT², [○]築瀬 智史^{1,2}, 赤羽 浩一², 松本 敦², 梅沢 俊匡², 山本 直克²,
前田 智弘^{1,2}, 外林 秀之¹
Aogaku Univ.¹, NICT², [○]Satoshi Yanase^{1,2}, Kouichi Akahane², Atsushi Matsumoto²,
Toshimasa Umezawa², Naokatsu Yamamoto², Tomohiro Maeda^{1,2}, Hideyuki Sotobayashi¹
E-mail: d5624008@aovama.jp

【はじめに】 モードロックレーザダイオード(MLLD)は、光導波路に可飽和吸収体(SA)を設けることで生じる非線形光学効果によりモード同期を起こし、短パルスを生成する。得られる光スペクトルは安定な周波数特性を示すコム形状となることから、計測分野において、測距やイメージングなどの応用研究が行われている[1]。近年では通信分野への応用も期待されており、ビート信号を生成する際に光周波数コムデバイスである MLLD を用いることで、位相ノイズや周波数ドリフトの低減が実現されている[2]。本研究では SA を導波路中央に設けた新構造 MLLD を作製し、特性評価を行った。

【実験】 試料の成長は分子線エピタキシー装置を用いて InP(311)B 上で行った。InP(311)B 上に 100 nm の n-InP バッファ層、50 nm の InGaAlAs 光導波路層を成長後、歪補償技術による InAs 量子ドットを 15 層積層させた。その後、50 nm の InGaAlAs 光導波路層、1600 nm の p-InP、150 nm の p-InGaAs コンタクト層を成長させてレーザ構造を形成した。MLLD 構造としては、紫外線露光装置と SiCl₄ ガスによる誘導結合プラズマ反応性イオンエッチング装置を用い、リフトオフプロセスにより、電極幅 4 μm で導波路の中央に SA を設けた構造を作製した。特性比較のため、電極幅 4 μm のリッジ導波路型レーザも併せて作製した。MLLD の SA 部は 10 μm とし、利得部とのギャップはそれぞれ 5 μm とした。レーザ共振器はへき開により共振器長 600 μm を作製し、その後低屈折率材料 SiO₂ と高屈折率材料 TiO₂ による高反射コーティングを施した。作製したデバイスは室温における連続動作の発振特性を評価した。このとき MLLD の SA 部はゼロ電圧とし、利得部のみに電流注入を行った。

【結果】 図 1 は注入電流 78 mA 時のリッジ導波路型レーザのスペクトル特性、図 2 は注入電流 85 mA 時の MLLD のスペクトル特性を示す。図より -60 dBm 以上のスペクトルの縦モード間隔はリッジ導波路型レーザが 0.60 nm、MLLD が 1.16 nm であった。また、スペクトルの広帯域化が確認できる。これらの結果から、MLLD が疑似的に約 300 μm の共振器長で発振をしているとみなすことができる。今後は SA 部に電圧を印加した際のスペクトル特性とパルス特性を評価する予定である。

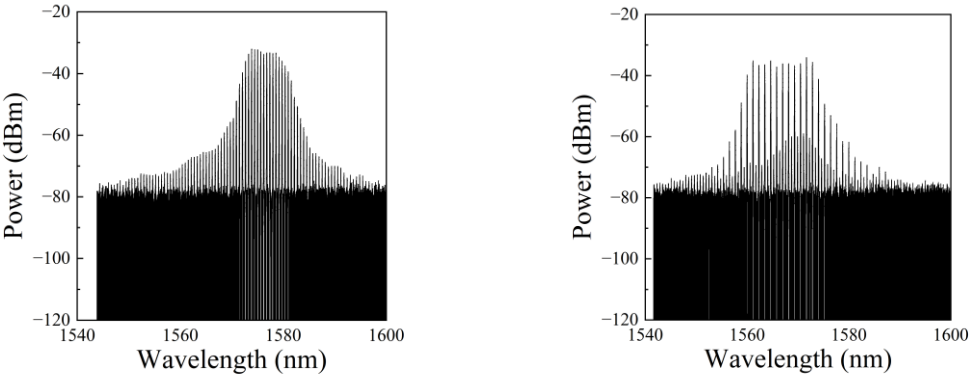


図 1 リッジ導波路型レーザスペクトル

図 2 SA を中央に設けた MLLD スペクトル

参考文献[1] T. Fortier *et al.*, Commun. Phys. 2, 153 (2019) [2] J. Xiao *et al.*, Adv. Condens. Matter Phys. (2020)

単一 CsPbBr₃ ペロブスカイトナノ結晶の電界発光の観測

Observation of Electroluminescence in Single CsPbBr₃ Perovskite Nanocrystals



東工大物質理工¹ ^{○(DC)}高木 虎之介¹, 大曲 駿¹, バッハ マーティン¹

Tokyo Tech¹, ^{○(DC)}Toranosuke Takagi¹, Shun Omagari¹, Martin Vacha¹

E-mail: Takagi.t.ag@m.titech.ac.jp

【研究背景】次世代の暗号通信技術である量子暗号通信は光子一粒ずつの状態でビットを表す。そのため光子を一粒ずつ高効率に放出できる単一光子放出材料の研究が活発に進められている。量子ドットの一つであるハロゲン化金属ペロブスカイトナノ結晶に関して、個々の単一ナノ結晶が優れた単一光子放出特性を示すことが光励起発光に関する研究で示されてきた[1]。本研究では実デバイスに組み込む際により望ましい電界発光を、単一ナノ結晶から観測することに成功した。

【デバイス構造】用いたデバイス構造の特徴的な点はナノ結晶の上から積層された絶縁層の存在である[2]。この絶縁層は電荷輸送層間で直接電荷が移動することを防ぐ一方、ナノ結晶には電荷が注入される厚さに調整された(Fig. 1a)。各電極と輸送層のエネルギー準位は Fig. 1b に示した。

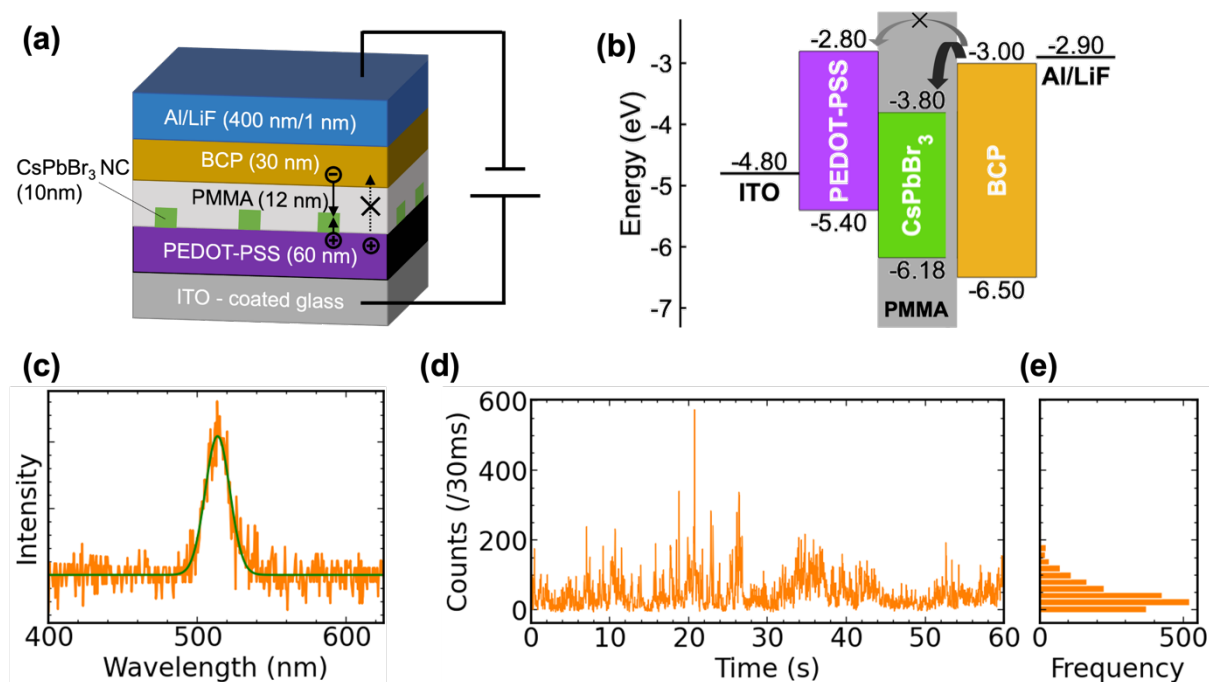


Fig. 1 (a, b) The device structure and its energy levels (c) EL spectrum of a single nanocrystal (d, e) blinking traces and the distribution of emission intensity.

【結果と考察】単一ナノ結晶の EL スペクトル(Fig. 1c)は半値全幅が 20 nm 以下、ピーク波長が 510 nm 付近の狭い発光スペクトルであった。観測された代表的な EL ブリンキングの振る舞い(Fig. 1d)は PL ブリンキングのようなオン-オフの 2 準位ではなく、短時間に不定の強度で発光するスパイク状であった[3]。このブリンキングの発光強度の分布(Fig. 1e)を見るとオフ状態および低強度発光の割合が高く、今後デバイスの改良や表面リガンドの交換により発光効率の改善が必要である。

[1] S. Castelletto, *et al.*, *Appl. Mater. Today*, 2022, **26**, 101401; [2] X. Lin, *et al.*, *Nat. Commun.*, 2019, **10**, 4499; [3] D. K. Sharma, *et al.*, *Nat. Commun.*, 2019, **10**, 4499

粒子加速器用 10kV 級 SiC 光伝導スイッチの応答速度評価

Rise Time Measurement of 10kV Class SiC Photoconductive Switch for Particle Accelerator

東芝エネルギーシステムズ¹, 高エネ研², 理研³, 分子研⁴, 東芝⁵ ○川崎 泰介¹, 安田浩昌¹,
吉田光宏^{2,3,4}, Vincent Yahia^{4,3}, 平等拓範^{3,4}, 木村重哉⁵, 太田千春⁵, 宮崎久生⁵
Toshiba Energy Systems & Solutions Co.¹, KEK², RIKEN³, Institute for Molecular Science⁴, Toshiba
Co.⁵ °Taisuke Kawasaki¹, Hiromasa Yasuda¹, Mitsuhiro Yoshida^{2,3}, Vincent Yahia^{4,3}, Takunori
Taira^{3,4}, Shigeya Kimura⁵, Chiharu Ota⁵, Hisao Miyazaki⁵
E-mail: taisuke.kawasaki@toshiba.co.jp

光伝導スイッチは励起レーザの応答速度で高速に大電圧を制御でき、高速なパルスパワー電源やその応用利用が期待できる。粒子加速器分野では光伝導スイッチで発生した大電圧の短パルスを粒子の加速電場に適用すれば、放電が抑制でき、加速電場の向上、加速器の小型化につながる¹⁾。そこで加速器への応用を視野に、半絶縁性半導体 4H-SiC を使用した光伝導スイッチを試作し、11.4kV の大電圧パルス発生を確認した²⁾。今回、光伝導スイッチの高速応答性に着目し、応答速度を評価したので報告する。

光伝導スイッチは 4H-SiC 基板 (12mm×12mm×0.5mm) の裏表面に Φ5mm の Ni=50nm、Ti=30nm、Au=200nm の電極を成膜したもので、Ni シリサイド生成を目的としアニール処理を行ってある。また、レーザでより多くキャリアを生成するため、レーザの吸収効率より基板内部への浸透性を重視し、2 光子吸収方式とした。4H-SiC のバンドギャップ 3.23eV³⁾から励起光波長には 768nm 以下が必要で、モード同期 Yb ファイバーレーザを第二高調波 (515nm) に変換して使用した。レーザパルス幅は 20ps である。光伝導スイッチ評価体系を Fig.1 に示す。体系は、印加可能電圧よりも応答速度を優先し、スイッチへの印加電圧は 0.39V と低圧に設定

した。サブ ns の高速応答を得るため、スイッチを固定するホルダ自体も特性インピーダンス 50Ω の同軸構造としてある。

得られた信号を Fig.2 に示す。20%-80%のライズタイムは 168ps であり、従来の電気制御のスイッチング素子より 2 桁高速な信号が確認できた。一方、レーザパルス幅に比しては低速であった。ホルダ及びオシロスコープまでの経路の周波数特性で信号が伸長している可能性があり、今後より詳細な検証を進める。

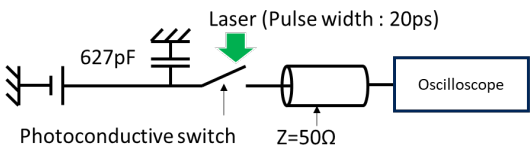


Fig.1 Measurement setup

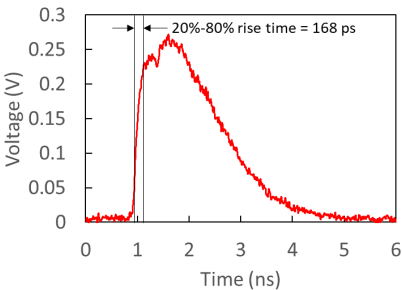


Fig.2 Switching rise time

1) G. J. Caporaso, et. al., Rev. of Acc. Science and Technology, LLNL-JRNL-416544 (2009)

2) 川崎他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 17a-A303-3 (2023)

3) M. E. Levinshtein et al., Properties of Advanced Semiconductor Materials: GaN, AlN, InN, BN, SiC, SiGe

二波長注入された半導体光増幅器における光励起効果

The Optical Excitation Effect in a Two-Wavelength Injected Semiconductor Optical

Amplifier

東海大理¹, ○(M2)長沢 海斗¹, (M1)猪口 泰利¹, 鄭 和翊¹

Tokai Univ.¹, °Kaito Nagasawa¹, Yasutoshi Inoguchi¹, Kazuyoku Tei¹

E-mail: 3csnm014@cc.u-tokai.ac.jp

1. 概要

900nm 帯の波長をもつレーザは、LiDAR(Light Detection and Ranging)や ToF(Time of Flight)方式などの光センシング技術に用いられている。ホールディング光[1]の注入によって半導体光増幅器(SOA)による自然放射増幅光(ASE)を抑制することができ、光励起によるパルス光出力の増大を確認した[2]。本研究では、連続光(CW)同士の二波長注入 SOA における光励起効果が確認されたので報告する。

2. 実験

948nm- LD をパルス幅 50ps のパルス駆動、または CW 駆動し、905nm-LD をホールディング光として CW 駆動した。Fig.1 のように、二波長光はカプラで混合し SOA で増幅させた後、BPF(Band Pass Filter)を用いて分離する。Fig2 は 948nm- LD をパルス駆動したときのもので、ホールディング光の SOA 入射出力毎 (0mW, 5mW, 9mW) に、平均出力 vs 繰り返し周波数を計測した。ASE 出力は Fig.2 の切片から導出し、傾きからパルスエネルギー及びピーク出力を導出している。Fig.3 は 948nm- LD を CW 駆動したときのもので、SOA による増幅出力を示している。

3. 結果と考察

Fig.2 から、ホールディング光 (905nm) の出力が増えるとともに、パルスエネルギーが増大していることが分かる。このことは、SOA 内で増幅されたホールディング光によりキャリアの再生成が起き、パルス光 (948nm) 出力が増大されたことを示している[3]。

二波長共に CW 駆動した場合の増幅結果(Fig.3)が示すように、二波長入射時の 948nm-CW の出力は、948nm-CW のみ入射したときに比べおよそ2倍まで増加していることが確認でき、948nm- LD をパルス駆動したときと同様に光励起効果が確認された。

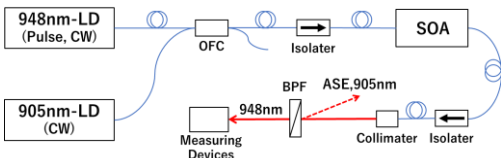


Fig.1. Experimental setup

[1] Hung Nguyen Tan, Motoharu Matsuura, and Naoto Kishi, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 28, 2593-2602 (2010)

[2] Yutaro Tashiro, Kaito Nagasawa, Kazuyoku Tei, SPIE proceedings, Paper 12893-15 (2024).

[3] Nithin Vogirala, M. R. Shenoy, and Yogesh Kumar, IEEE PHOTONICS JOURNAL, 13 (6), (2021)

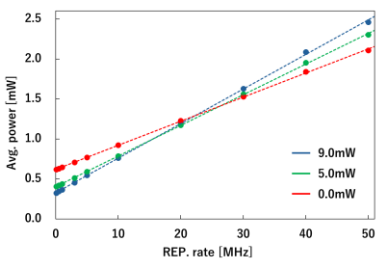


Fig.2. Average amplified Power vs. Pulse REP. rate

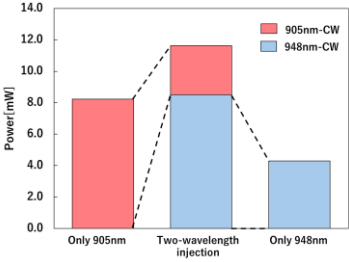


Fig.3. Confirmation of the optical excitation effect between CW beams

静電噴霧法による量子ドット薄膜の作製とその評価

Preparation and evaluation of quantum dots thin films by electrostatic spraying deposition

同志社大理工 ○(M2)原郁弥、大谷直毅

Doshisha Univ. ○Fumiya Hara and Naoki Ohtani

E-mail : ctwj0310@mail4.doshisha.ac.jp

1. はじめに

静電噴霧法は静電気力と表面張力を利用した成膜技術である。単分散性や材料使用効率が高いものの、高電圧によって液滴の発生、成膜を行うため、材料および被成膜基板に導電性が必要となる[1]。本研究では、コロイド状量子ドットを用いた塗布法による面発光レーザーの作製を最終目標としており、安価で低しきい値化を目指すことができる作製方法を模索している。今回は静電噴霧法に着目し、量子ドット薄膜の作製、評価を行った。

2. 実験方法

導電性材料である FTO（フッ素ドープ酸化スズ）を誘電体多層膜ミラーの反射面に塗布したものに対して、10 mm×10 mm の範囲に静電噴霧法による量子ドット薄膜の作製を試みた。このとき、量子ドットは 560 nm の発光波長をもつ Cd 系コロイド状量子ドットを使用した。また、量子ドットを分散させる溶媒として水、水+アセトニトリル、ジクロロメタン、トルエン+アセトンの 4 種類を用いて比較した。また、水を溶媒として使用した実験では、背圧をかけない場合と 0.01 MPa の背圧をかけた場合のそれぞれで成膜、評価を行った。

3. 実験結果

水は静電噴霧に適した溶媒として知られているが、今回の実験では材料が拡散せず、基板の狭い範囲に集中した (Fig.1(a))。しかし、アセトニトリルを混合することで表面張力が低下し、材料が拡散するようになり、成膜結果が改善した (Fig.1(b))。また、短波長側にシフトしていた発光が、シフトしなくなったことが確認された (Fig.2)。さらに、ジクロロメタン、トルエン+アセトン溶媒として用いた実験では、誘電率の高さ（極性の強さ）が大きいほど噴霧状況、および成膜結果が改善することが示された。

4. まとめ

静電噴霧法による量子ドット薄膜の作製において、表面張力や誘電率の高さが成膜結果を決定することが明らかになった。

参考文献

[1] 山田凌, 金大貴, 大谷直毅, 第 30 回光物性研究会 II-55 (2019)

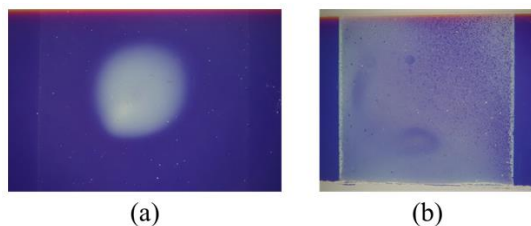


Fig.1 Improvement of deposition results by mixing acetonitrile with water.
(a)water, and (b)water + acetonitrile

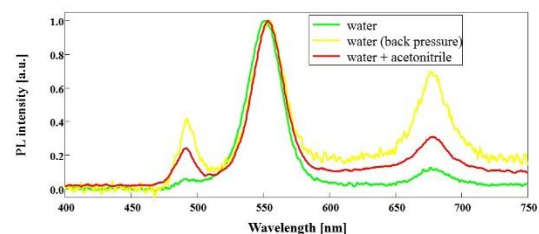


Fig.2 PL spectra of quantum dots thin films.

シロキサン系樹脂を用いた熱制御転写プリント集積の検討

Investigation of heat-controlled transfer printing integration with siloxane-based resins

慶大理工¹, JSR 株式会社²

○赤星 颯麻¹, 安池 伸夫², 西村 達哉², 岡田 敬², 藤田 晃成¹, 太田 泰友¹

Keio Univ.¹, JSR Corporation²

°Soma Akahoshi¹, Nobuo Yasuike², Tatsuya Nishimura², Takashi Okada², Akinari Fujita¹, Yasutomo Ota¹

E-mail: redstar.ihsohaka@keio.jp, ota@appi.keio.ac.jp

はじめに 転写プリント法は自在かつ高度な異種材料集積を可能にするハイブリッド光集積技術として期待されている。一般的な転写プリント法^[1]では polydimethylsiloxane (PDMS)を転写スタンプとして用いるが、リリース時にはスタンプを転写対象から極めてゆっくりと剥離する必要があるが、転写サイクルの高速化を妨げていた。これに対し我々は、接着力に強い温度依存性を示す polyvinyl-chloride(PVC)を用いた熱制御転写プリント法に注目し、転写集積の高速化を検討してきた^[2]。今回、PVC よりも小さな温度差で接着力が変化するシロキサン樹脂を用いた熱制御転写プリント集積を検討したので報告する。

実験結果 転写スタンプ材として、シロキサン樹脂 (Film A)、Film A に熱架橋性化合物を 2 重量%導入したもの (Film B)、Film B よりも成膜時の焼成温度を上げたもの (Film C) の 3 種類を用いた。図 1(a)のようにスライドガラス上に両面テープを介して上記フィルムを貼付けて転写スタンプとした。転写ターゲットは GaAs 薄膜 (13.8×15.2×0.13 μm) とし、その温度を室温から 10 °C ずつ昇温しつつ Si 熱酸化膜上への転写集積を行った。スタンプの操作速度はピックアップ時 1000 μm/s、リリース時 10 μm/s であった。図 1(b)に各フィルムでピックアップ、リリースに成功した最低温度とその温度差を示す。Film A と C については PVC よりも小さな温度差で転写できていることがわかる。また各フィルム用いてリリースした試料の様子を図 1(c-e)に示す。Film A では転写時の温度差が小さかったものの残渣が多く発生している。Film B では残渣が抑制できているが転写時の温度差が大きかった。これに対し、Film C では温度差を低減しつつ残渣の発生を抑制できている。詳細は当日報告する。

参考文献 [1] M.Meitl *et al.*, Nature Mater 5, (2006). [2] 佐藤, 太田他, 応物秋, 22a-C402-6 (2023). **謝辞** 本研究の一部は NEDO の支援を受けたものである。

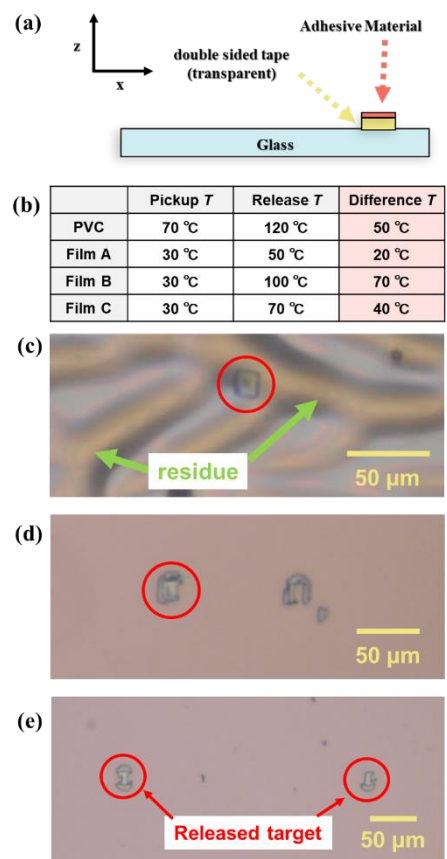


Fig. 1 (a) Schematic of the stamp structure used in this study. (b) Lowest pick-up and release temperatures (T) of the successful operations with the three films studied. Optical microscope images of GaAs thin films transferred by (c) film A, (d) film B, and (e) film C.

プラズマ表面処理を援用した転写プリント集積の検討

Investigation of transfer printing integration assisted by plasma surface treatment

慶應理工¹, 東大ナノ量子² ○(M1) 立崎 裕真¹, 赤星 颯麻¹, 藤田 晃成¹, 荒川 泰彦², 太田 泰友¹

Keio Univ.¹, Nanoquine, The Univ. of Tokyo²

○Yuma Tachizaki¹, Soma Akahoshi¹, Akinari Fujita¹, Yasuhiko Arakawa² and Yasutomo Ota¹

E-mail: yuma130411@keio.jp, ota@appi.keio.ac.jp

はじめに 転写プリント法は、複雑な異種材料光集積を自在かつ高品質に実現可能な技術として注目されている^[1]。しかし、転写先であるレシーバー基板と転写対象との間の接着については簡便に行われている例が多く、後プロセスへの影響も深くは検討されていない。接着のための中間層として benzocyclobutene 等を用いる場合^[2]、光学特性や熱特性が悪化する恐れがある。また、プラズマ表面処理による直接転写接合が検討されているものの、その詳細はほとんど明らかになっていない^[3]。今回我々は、プラズマ表面処理を援用した半導体薄膜の転写プリント集積に取り組んだ。レシーバー基板と転写対象の双方にプラズマ表面処理を行った際に、接着状態の改善が示唆されたため報告する。

実験結果 転写スタンプの接着材料には PDMS、転写ターゲットには GaAs 薄膜($5 \times 10 \times 0.13 \mu\text{m}$)、レシーバー基板には熱酸化膜付き Si 基板を使用した。GaAs 薄膜をピックアップした後、(A)プラズマ照射なし、(B)レシーバー基板のみに照射、(C)ピックアップした薄膜裏面とレシーバー基板両方に照射、という 3 種の処理を施し試料を転写プリントした。転写薄膜に対して合計 50 秒間の超音波洗浄を行い、その後の残存数を調査し基板との接着状態を評価した。図 1(a-c)に条件(A)-(C)における超音波洗浄後に残存した薄膜の光学顕微鏡像を示す。(C)の条件で最も薄膜が残存している。また図 1(d)にプラズマ照射条件と超音波洗浄後の薄膜の残存数の関係を示す。条件(B)では条件(A)と比べ多くの薄膜が残存したが一部が脱離した。一方、条件(C)では転写した全ての薄膜が残存したことから接着状態の改善が示唆される。実験の詳細は当日報告する。

参考文献 [1] G.Roelkens *et al.*, IEEE J Quantum Electron, 29, 3 (2023). [2] A.Groote *et al.*, Opt. Express, 24, 13754 (2016). [3] A. Carlson *et al.*, Adv. Mater., 24, 5284 (2012).

謝辞 本研究の一部は NEDO によって支援された。

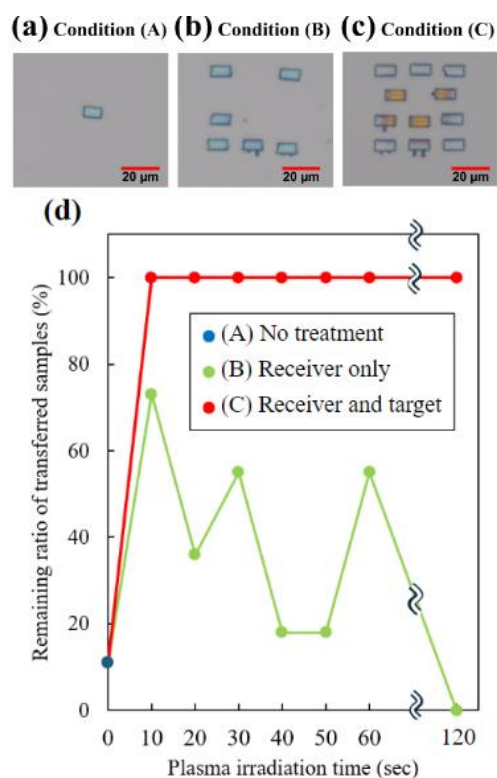


Fig. 1 (a-c) Optical microscope images of transferred targets recorded after sonication. The targets were respectively treated with the conditions (A)-(C) before the transfer. (d) Plasma-irradiation dependence of the remaining ratio of transferred targets.