

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04199

研究課題名（和文）ハイブリッドシリコン集積回路による光通信送信サブシステム構築に関する研究

研究課題名（英文）Fabrication of optical transceiver using hybrid silicon integrated circuits

研究代表者

下村 和彦（Shimomura, Kazuhiko）

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：90222041

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：シリコンプラットフォーム上における光通信送信サブシステムの構築のために、InP-Si基板を用いて、長波長帯GaInAsP系半導体レーザー光源の実現を目的とした研究を行った。シリコン基板上においてGaInAsP系量子井戸構造のMOVPE選択成長技術、S-K成長モードを用いた量子ドット構造の成長技術の基礎検討を行った。さらに親水性直接貼付によって作製したInP-Si基板において発生するボイドがこの基板上に成長する量子井戸レーザーの発振特性にどのような影響を与えるか、数値シミュレーションによる散乱損失の解析、実際に作製した量子井戸レーザーの発振特性とボイドの形状、密度との関連性を実験的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シリコンプラットフォーム上においてIII-V族半導体レーザーを実現することは、シリコン集積回路と光デバイスの光電融合を実現する上で非常に重要な課題である。本研究は光通信送信サブシステムを構築するためにシリコン基板上における選択成長技術、量子ドット成長技術の成長機構を明らかにした。またInPとシリコン基板を親水性直接貼付する際に生じるボイドの導波路内散乱損失を数値シミュレーションによって求め、また実験的にボイドと半導体レーザーの発振しきい値の関連を調査した。シリコン基板上半導体レーザー構造の成長技術の解明、またシリコン基板上半導体レーザーの特性を明らかにしたことに学術的意義がある。

研究成果の概要（英文）：For the fabrication of hybrid optical transceiver on the silicon platform, we have studied the long wavelength semiconductor laser diode using InP-Si substrate. On the silicon substrate, we have performed the fundamental study of selective area growth by MOVPE and growth of quantum dots using stranski-krastanov mode. Furthermore, we have studied the lasing characteristics dependent on the voids generated by the hydrophilic bonding of InP-Si substrate. The optical scattering loss in the waveguide was obtained by the numerical simulation, and we have experimentally shown the relation between the threshold current of laser diodes and the structure, density of voids.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：シリコンフォトリクス 半導体レーザー 有機金属気相成長 集積化技術 InP

1. 研究開始当初の背景

現代の情報化社会を支えるクラウドサービス、IoTの進展により、通信速度の高速化や通信容量の大容量化に対する期待は年々高まっている。この通信技術は光ファイバ通信によって支えられており、さらなる技術の発展が必要不可欠である。この光ファイバ通信への期待は幹線系の通信にとどまらず、通信容量が増え続けるデータセンター内への拡大が期待されている。

これまで光通信システムにおいては、光源である半導体レーザ、外部変調器、波長フィルタ、光検出器は個々のデバイスとして、それぞれその動作に最適な材料を用いて作製され、光ファイバで相互に接続されたサブシステムとして運用されてきた。これに対して変調器や波長フィルタ、光検出器などのパッシブデバイスをシリコン基板上で作製するシリコンフォトリソグラフィの分野が急速に発展している。従来のシリコン集積回路の製造設備を利用して大面積シリコン基板上に作製されたパッシブデバイスの動作特性が報告され、さらに何種類かのデバイスを集積化したシステム実験等も行われ、既存のデバイスを置き換えることができるかどうかの検証が進展している。

シリコン基板上に光通信の送信サブシステムを集積化する場合、一番の課題は光源である。シリコン材料を基盤とした半導体レーザの研究もされているが、シリコンが間接遷移半導体という性質のため現時点では高効率な光源を得ることは困難な状況である。そのため光通信で一般的に使用されている InP 系の化合物半導体レーザをシリコン基板上にハイブリッド集積化する方法が有望視され、その集積方法が検討されている。代表者はハイブリッド集積の方法として、「InP - シリコン基板の作製とその基板上での結晶成長、プロセス」を提案した。これはシリコン基板上に約 1 μm 厚の InP 膜を親水性直接貼付けして InP-Si 基板を作製し、そしてこの基板上に有機金属気相成長などの半導体結晶成長により化合物半導体を成長し、デバイス作製を行うものである。この集積化技術を応用し、光通信送信サブシステムを構築するための研究である。

2. 研究の目的

本研究においては、シリコンプラットフォーム上へシリコン光回路と化合物半導体光源を集積化した光通信送信サブシステムの構築のために、提案する InP-Si 基板を用いて、長波長帯 (1.5 μm) GaInAsP 系多波長半導体レーザ光源の実現を目的とした研究であり、有機金属気相成長法を用いた選択成長技術による多波長半導体レーザの集積化、シリコン基板上の選択成長技術とその物性評価を行う。提案した方法は特許申請 (下村和彦, 松本恵一, 「半導体装置、テンプレート基板、半導体装置の製造方法」, 特許出願 2012-163605, 公開番号: 特開 2014-026999) した独自の手法である。この方法は、シリコンと化合物半導体の格子定数や極性の違いによる直接成長の問題を回避し、また他のハイブリッド集積方法と比較して (1) 大面積シリコンウエハへの高密度集積が可能、(2) シリコン光回路との高精度なアライメントが可能、(3) 化合物半導体基板の再利用が可能、などの特長を持った低コスト、大量生産が可能な高密度ハイブリッド集積方法である。

提案手法をベースに、有機金属気相成長法による選択成長技術を用いて多波長光源の開発を実証することによって、シリコンプラットフォーム上において異なるバンドギャップ波長を有する様々な半導体アクティブ、パッシブデバイスの集積化、またシリコン光回路との集積化により、ハイブリッド集積化技術実用化のために大きく貢献できると考えた。さらに異種材料を接合した場合、格子定数差や熱膨張係数差による歪エネルギー、基板方位の違いによる結晶成長機構が単一結晶と異なると考えられる。本研究においては、InP-Si 基板上における量子井戸構造の成長を行い異種材料接合基板上における歪エネルギーを含んだ結晶成長における歪制御機構、バンドギャップ制御機構を解明するという学術的研究も進めた。

3. 研究の方法

本研究課題においては、有機金属気相成長法による選択成長技術による多波長半導体レーザの集積化、量子ドット構造を用いた光増幅器の集積化、およびシリコン基板上の選択成長技術とその物性評価を行う。これらの項目に関して具体的研究方法を示す。

シリコン基板上選択成長技術と物性評価においては、これまでに GaInAsP 系量子井戸構造を活性層とした長波長帯量子井戸レーザにおいて室温発振を実現した。量子井戸一層当たりの発振しきい値電流密度として 20 μm において 221 A/cm² を実現した。これに対して InP 基板上の量子井戸レーザの発振しきい値電流密度は 137 A/cm² である。シリコン基板上量子井戸レーザのさらなる低しきい値化を実現するために、薄膜 InP のシリコン基板への接合条件の最適化および歪量子井戸構造の最適化を行っていく。そしてシリコン基板上選択成長技術の基礎検討を行う。まず酸化膜形状 (幅) と量子井戸構造のバンドギャップ波長の関係を把握し、接合基板における選択成長機構を解明する。また InP-Si 基板上における成長機構の解明を行う。InP と Si の熱膨張係数の差は、結晶成長の際の井戸層の成長における歪エネルギーに影響を及ぼすと考えられる。

そこで歪量子井戸構造の成長を通して、異種材料接合基板上における歪エネルギーや結晶方位の差が結晶成長に与える影響、接合界面に存在する混晶領域（遷移領域）の組成・厚さがその上の結晶層に与える影響を解明する。

InP-Si 基板の作製においては、親水性直接貼付法を用いているが、この作製過程において InP と Si 基板の界面にポイド（気泡）が発生する。このポイドはその上に成長する量子井戸層を含む導波路層に凸凹を生じこれが光の散乱損失となり、半導体レーザのしきい値を増加させる要因になると懸念される。そこでポイドが導波路損失、半導体レーザの特性に与える影響を数値計算および実験によって明らかにする。

4. 研究成果

シリコン基板上選択成長技術の基礎検討を行った。選択成長は半導体基板の一部をシリコン酸化膜で覆い、半導体が露出している部分に選択的に結晶成長を行う技術である。この際、酸化膜の幅および酸化膜に挟まれた導波路幅を制御することによって半導体結晶の成長速度を制御することができる。そして量子井戸構造を成長すれば、この酸化膜の幅によって量子井戸層厚が制御でき、バンドギャップ波長を変化することができる。InP-シリコン基板上において酸化膜形状（幅）と量子井戸構造の成長層厚およびバンドギャップ波長の関係を調査し、InP 基板との比較検討を行った。そして選択成長に伴う成長層における歪量の推定を行った。また活性層への量子ドット構造の導入に関する S-K 成長モード量子ドットの検討を行い、量子ドット構造による光増幅器の集積化も可能である見通しを得た。これらの実験結果はさらに付加的な実験を行い、考察を深めている状況であり、今後論文発表を行う予定である。

InP と Si の熱膨張係数の差は、結晶成長の際の歪効果に影響を与えられられる。この歪効果について InP-Si 基板上と InP 基板上に成長した GaInAsP 歪量子井戸構造の X 線回折、光学特性を調べた。図 1 は InP-Si 基板上、InP 基板上に同時に成長した多重量子井戸構造の X 線回折評価および PL 発光特性の比較である。X 線回折像より InP 基板上では基板と井戸層はほぼ格子整合しているが、InP-Si 基板上においては井戸層の格子がずれていることが分かる。格子不整合度は約 0.01% である。また PL 発光特性では、InP-Si 基板の発光波長が InP 基板に比べて 50nm 短波長化し、歪の影響を受けていることが分かる。またピーク強度は InP-Si 基板において約 8% 程度低下しているが、結晶の光学的劣化は無いと考えられる。

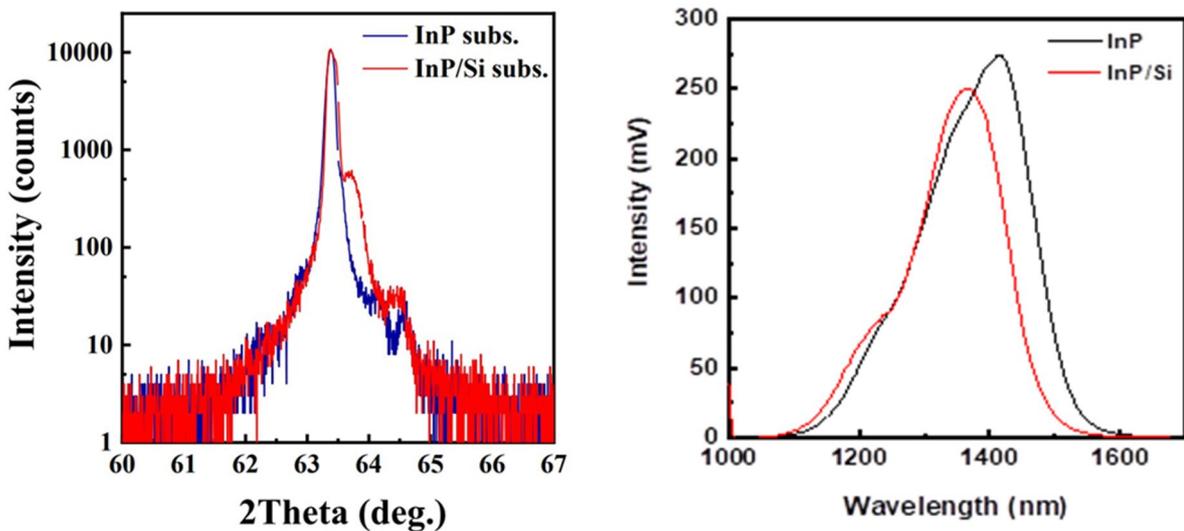


図 1：InP-Si 基板上、InP 基板上多重量子井戸構造の X 線回折像および PL 発光特性の比較

これらの歪効果を系統的に調べるために、井戸層の歪量を変化させた歪量子井戸構造を作製し、レーザの発振特性を測定した。図 2 は有機金属気相成長によって作製した GaInAsP/GaInAsP SCH-MQW 構造である。成長温度は 650 、成長圧力 8kPa である。まず n-InP buffer 層 ($N_D=3.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 300nm、n-GaInAsP SCH 層 ($N_D=3.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 100nm 成長し、その上に GaInAsP well 層 (1.5Q) 8nm、GaInAsP barrier 層 (1.2Q) 10nm の 7 周期 MQW、p-GaInAsP SCH 層 ($N_A=7.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) 100nm、活性層への不純物拡散を防ぐためにドーピング量を変化させた p-InP クラッド層 500nm ($N_A=7.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$)、1000nm ($N_A=1.1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) の順で成長し、最後に p-GaInAs コンタクト層を 120nm 成長した。今回はこのレーザの活性層のうち井戸層の部分の歪量を変化させた成長を行い、0%、0.31%、0.46%、0.61%、0.77%、1.07% となる圧縮歪を加えた。

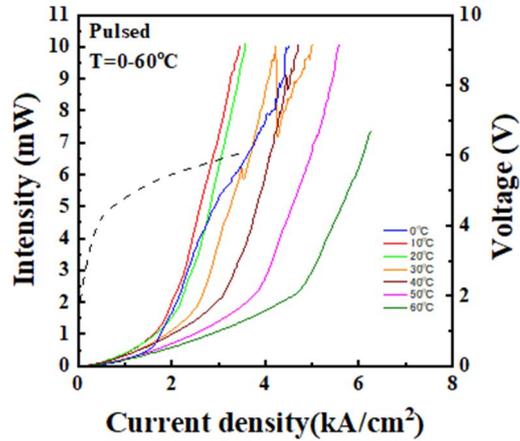
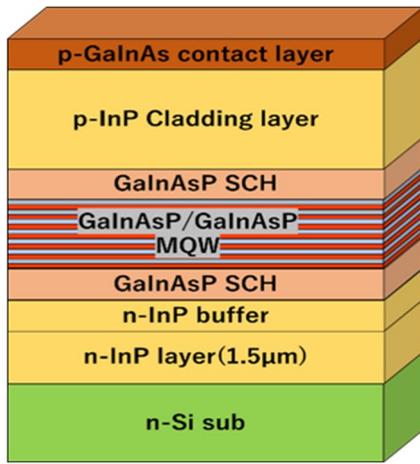


図 2 : GaInAsP/GaInAsP SCH-MQW 構造

図 3 : InP-Si 基板上半導体レーザの I-L 特性

そしてこの構造に P 面と N 面に金属を蒸着し、へき開によってブロード電極型の半導体レーザを作製した。典型的な半導体レーザの大きさは共振器長 $300\ \mu\text{m}$ 、幅 $100\ \mu\text{m}$ である。発振特性の測定には、パルス電流を注入し、端面発光特性を観測した。図 3 は歪量 0.61% の InP-Si 基板上 SCH-MQW レーザの電流-光特性である。60 までのパルス発振を確認した。

発振した歪量子井戸レーザの最低発振しきい値電流密度を InP 基板上と InP-Si 基板上で比較すると、InP 基板上では、歪量が増加するとともに発振しきい値電流密度が徐々に低減している結果を得た。それに対して、InP-Si 基板上では、歪量が 0.46 ~ 0.61% 程度までは減少しているが、それ以上の歪量では発振しきい値電流密度が増加する結果を得た。これらの結果から InP 基板上と InP-Si 基板上では成長層の歪エネルギーに差があることが分かるが、そのエネルギー差と InP と Si の熱膨張係数差がどのように関係しているかを考察し、論文投稿の準備を進めている。

次に親水性直接貼付の際に生じるボイドが導波特性、レーザの発振特性にどのような影響を与えるかを検討した成果を示す。最初にボイドが存在する導波路内での散乱損失を数値解析によって求めた。数値解析には COMSOL を用いた。図 4 は解析のモデルと光伝搬特性の 1 例である。

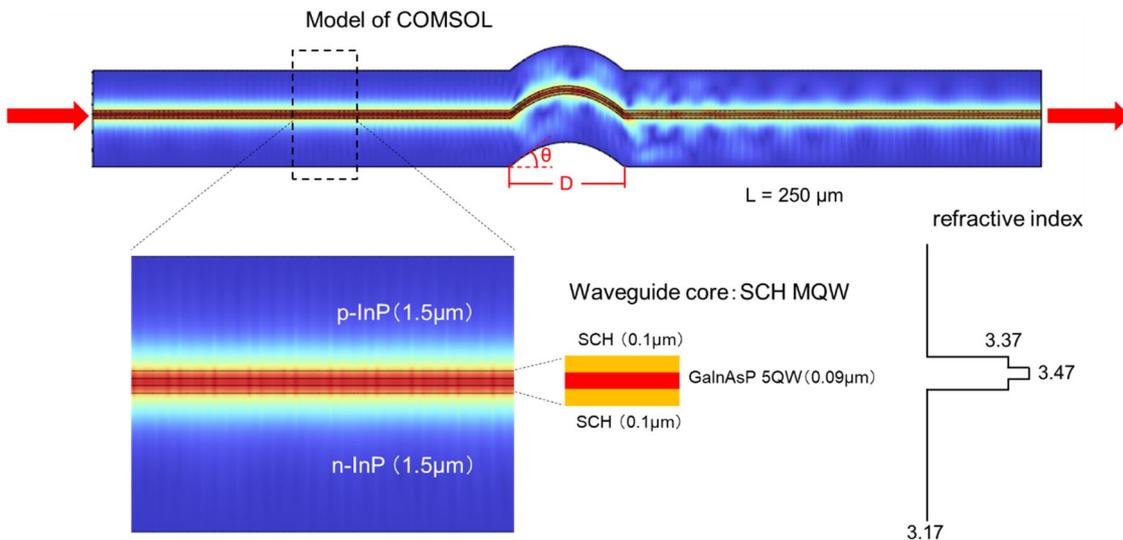


図 4 : COMSOL を用いた数値解析モデルと光伝搬特性

実際に作製した InP-Si 基板のボイド密度よりチップ化したレーザ内には多くて 1 個のボイドが存在するので、数値解析には 1 個のボイドが存在するモデルを構築した。ボイドの大きさを測定するとボイドの直径は $10\ \mu\text{m}$ ~ $60\ \mu\text{m}$ 、高さは $0.2\ \mu\text{m}$ ~ $2\ \mu\text{m}$ であり、ボイドのパラメータとして直径と底面との角度を変数として数値解析を行った。図 5 はボイドの直径に対する出力光/入力光強度比であり、角度を変数としている。図よりボイドの角度が大きくなるに従い、出力光強度が減少していることが分かる。図 6 はボイド角度に対する散乱損失係数であり、直径を変数としている。ボイド直径 $10\ \mu\text{m}$ において角度 3° で散乱損失係数が 3.95cm^{-1} 、角度 7° において

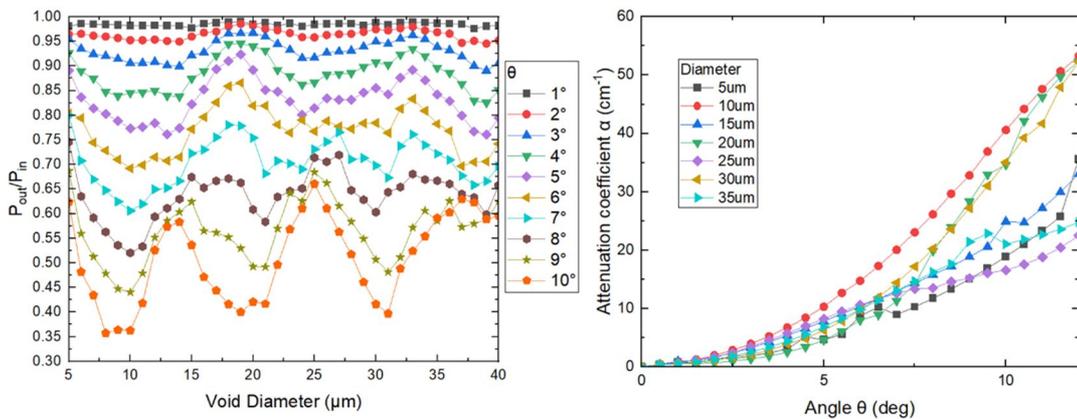


図 5：ボイド直径、角度に対する出力光強度 図 6：ボイド角度、直径に対する散乱損失係数

散乱損失係数が 20cm^{-1} となった。角度の増大は散乱損失係数の増加を招くことが分かる。この散乱損失の増加は半導体レーザの内部損失の増加となり、半導体レーザのしきい値増加となる。そこでこの散乱損失係数を用いて量子井戸レーザのしきい値電流密度を密度行列理論を用いた利得の計算から求めた。ボイド直径 $10\mu\text{m}$ において角度 3° のボイドに対してはしきい値電流密度の増加が 0.4% 、角度 7° のボイドに対してはしきい値電流密度の増加が 2.3% であることが分かった。これらの結果は国際会議で発表を行い、また論文投稿を行っている。

さらにこのボイドの形状、密度と半導体レーザのしきい値の関係を実験的に測定した。図 7 は親水性直接貼付した InP-Si 基板と SCH-MQW 構造を成長した InP-Si 基板のボイドの面積占有率、密度、角度の比較である。また InP-Si 基板を作製する際の、InP テンプレートの膜厚を $1.5\mu\text{m}$ と $2\mu\text{m}$ 、アニール温度を 400°C と 450°C と変化して実験を行った。

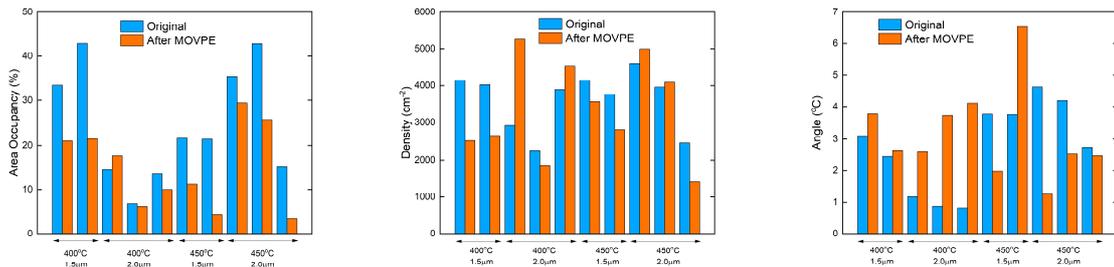


図 7：親水性直接貼付した InP-Si 基板と SCH-MQW 構造を成長した InP-Si 基板のボイドの面積占有率、密度、角度

この図よりボイドの面積占有率は SCH-MQW 構造を成長した後でほぼ減少していることが分かる。それに対して、密度はわずかに上昇し、角度の平均値は低下していることが分かる。これらのウエハに対してブロード電極型の半導体レーザの発振特性をパルス注入電流によって測定した。発振しきい値電流密度は、ボイドの占有面積、密度の低減によって減少していることが分かった。また角度に対しては大きな依存性が確認できなかった。特にボイドの面積占有率が 5% 以下、密度が 2000cm^{-1} のウエハでは同時に成長した InP 基板上 SCH-MQW とほぼ同等の発振しきい値電流密度を得た。これらの詳細な関係については論文投稿の準備をしている状況である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 G.K. Periyanyagam and K. Shimomura	4. 巻 2300677
2. 論文標題 Gain coefficient comparison between Silicon and InP laser diode substrate	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi A	6. 最初と最後の頁 2300677-1, 6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssa.202300677#	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 G.K. Perlyanyagam and K. Shimomura	4. 巻 51
2. 論文標題 Numerical analysis and lasing characteristics of GaInAsP double heterostructure lasers on InP/Si substrate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 5110-5119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11664-022-09737-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 X. Han, K. Tsushima, T. Shirai, T. Ishizaki, and K. Shimomura	4. 巻 2021
2. 論文標題 Characteristics of multi-quantum-well laser diodes with surface electrode structure directly bonded to InP template on SiO2/Si substrate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi A	6. 最初と最後の頁 2000767
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssa.202000767	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 0件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 L. Zhao, K. Agata, R. Yada, J. Zhang, and K. Shimomura
2. 発表標題 Numerical simulation of waveguide propagation loss on directly bonded InP/Si substrate
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2023 (CSW 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Junyu Zhang, G.K.Periyanayagam, 趙亮, 下村和彦
2. 発表標題 InP/Si基板上GaInAsP半導体レーザーの利得特性の測定
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 趙亮, G.K.Periyanayagam, Zhang Junyu, 矢田涼介, 下村和彦
2. 発表標題 ガスアウトチャネルを有する直接貼付InP/Si基板上GaInAsP系半導体レーザーの発振特性()
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 黒井瑞生, 趙 亮, 下村和彦
2. 発表標題 InP/Si基板上SCH - MQW レーザの散乱損失を考慮した低しきい値構造の検討
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 趙 亮, G.K. Periyanayagam, Zhang Junyu, 矢田涼介, 下村和彦
2. 発表標題 ガスアウトチャネルを有する直接貼付InP/Si基板上GaInAsP系半導体レーザーの発振特性
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 L. Zhao, M. Sato, K. Shibukawa, S. Ito, K. Agata, and K. Shimomura
2. 発表標題 Annealing sequence dependence of directly bonded InP/Si substrate for GaInAsP LDs on silicon platform
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics PacificRim 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Yada, K. Agata, L. Zhao, S. Ito, S. Aoki, and K. Simomura
2. 発表標題 Well layer thickness dependence on threshold current of SCH-MQW laser diode grown on InP/Si substrate
3. 学会等名 28th International Semiconductor Laser Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢田涼介, 阿形幸二, 趙亮, 伊藤慎吾, 青木彩絵, 下村和彦
2. 発表標題 直接貼付InP/Si基板上GaInAsP SCH-MQWレーザの井戸層厚と閾値電流密度に関する検討
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 趙亮, 阿形幸二, 伊藤慎吾, 矢田涼介, 下村和彦
2. 発表標題 直接貼付InP/Si基板のボイドによる導波損失の数値計算
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 香取祐太, 陳 深, 下村和彦
2. 発表標題 自己触媒VLS法を用いた再成長InPコアシェルナノワイヤのフォトルミネッセンス特性
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 趙 亮, 阿形幸二, 伊藤慎吾, 矢田涼介, 下村和彦
2. 発表標題 直接貼付InP/Si基板のポイドによる導波損失の数値計算()
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 X. Han, K. Tsushima, M. Sato, T. Shirai, M. Sato, S. Ito, T. Ishizaki, K. Shibukawa, K. Agata and K. Shimomura
2. 発表標題 Buried hetero structure laser diode on directly bonded InP/Si substrate
3. 学会等名 27th International Semiconductor Laser Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 X. Han, K. Tsushima, T. Shirai, M. Sato, S. Ito, T. Ishizaki, K. Shibukawa, K. Agata, M. Kotani and K. Shimomura
2. 発表標題 MQW laser with surface electrodes on directly bonded InP/SiO ₂ /Si substrates
3. 学会等名 26th Optoelectronics and Communications Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kuwahara, R. Ishihara, Y. Katori, and K. Shimomura
2. 発表標題 Selective regrown core-shell nanowires using self-catalytic VLS mode
3. 学会等名 26th Optoelectronics and Communications Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木彩絵, 澁川航大, 韓 旭, 佐藤元就, 伊藤慎吾, 阿形幸二, 矢田涼介, 下村和彦
2. 発表標題 直接貼付 InP/Si基板上 GaInAsP SCH-MQW埋込レーザの発振特性改善
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 趙 亮, 佐藤元就, 澁川航大, 伊藤慎吾, 阿形幸二, 下村和彦
2. 発表標題 直接貼付 InP/Si基板の加熱処理シーケンスの依存性について
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿形幸二, 澁川航大, 趙 亮, 佐藤元就, 伊藤慎吾, 下村和彦
2. 発表標題 直接貼付 InP/Si基板上 GaInAsP/GaInAsP MQWレーザの歪量依存性の検討
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澁川航大, 韓旭, 対馬幸樹, 石崎隆浩, 白井琢人, 佐藤元就, 伊藤慎吾, 阿形幸二, 小谷桃子, 青木彩絵, 矢田涼介, 下村和彦
2. 発表標題 直接貼付InP/Si基板上GaInAsP SCH-MQW埋込レーザの発振特性改善
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 下村 和彦、並木 周、小田 拓弥、村上 雅之、辻川 恭三、佐藤 昭、乗木 暁博、村田 博司、富木 政宏、那須 秀行、牧 英之、梶 貴博、庄司 雄哉、岡田 修司、松本 怜典、平山 智之、神野 正彦、鈴木 浩文、磯野 秀樹、平尾 朋三 他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 628
3. 書名 次世代高速通信に対応する光回路実装、デバイスの開発	

〔産業財産権〕

〔その他〕

上智大学 下村研究室 https://pweb.cc.sophia.ac.jp/shimolab/ 上智大学 下村研究室 http://pweb.cc.sophia.ac.jp/shimolab/
--

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------