

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01479

研究課題名（和文）高品質フォトニック結晶素子におけるインコヒーレント光励起誘導ラマン利得の研究

研究課題名（英文）Study on Raman gain induced by incoherent light in high quality photonic crystal devices

研究代表者

高橋 和 (Takahashi, Yasushi)

大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：20512809

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：実用的なナノ共振器シリコンラマンレーザの開発に向けて研究した。インコヒーレント光によるナノ共振器からのラマン散乱スペクトルとコヒーレント光によるスペクトルを比較した。ラマンレーザ発振に期待が持てる結果が得られたが、インコヒーレント光では発振に十分な量の光を共振器内に注入できなかった。目的達成には発振閾値を下げる必要がある。そこで機械学習により設計Q値を高めたナノ共振器、閾値を半減できる短波長帯ラマンレーザ、ヘテロ反射ミラー付きラマンレーザを開発した。予期しない成果として、インコヒーレント光で励起されたシリコンナノ共振器による空間電荷センサ開発が有望な応用であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実用的なシリコンレーザ開発は科学者の夢である。シリコンラマンレーザは、唯一の室温連続発振するシリコンレーザである。研究代表者が開発したシリコンラマンレーザは、インテルが開発したレーザの1万分の1以下のエネルギー閾値と装置サイズを持つ。半世紀の間、全てのラマン増幅デバイスは、レーザ光を誘導ラマン利得の発生に用いてきたが、シリコンのラマンバンド幅は狭い。広帯域ラマン利得の発生が応用では重要である。そこで、インコヒーレント光を用いる手法を、高品質サンプルと、顕微分光測定により調べた。本研究が目指す広帯域でレーザ発振するシリコンラマンレーザチップは、IT技術の大幅な省エネ化と高速化をもたらすだろう。

研究成果の概要（英文）：We have studied the application of a nanocavity Raman silicon laser. The Raman scattering spectra from the nanocavity excited by incoherent light are compared with the spectra excited by coherent light. Although promising results were obtained for the cw laser oscillation, it was not possible to inject a sufficient amount of light into the nanocavity for the cw oscillation with incoherent light. It is effective for Raman laser with incoherent light to decrease the laser threshold. We have designed the nanocavity with the higher Q factors by the machine learning, in which the threshold of a sub 100 microwatt threshold was obtained. This threshold is less than half of the conventional value. In addition, we have also realized the Raman silicon laser with a shorter wavelength band that can decrease the threshold by two times. As an unexpected results, we have demonstrated a promising application of the development for the space charge sensor with incoherent light excitation.

研究分野：シリコンフォトニクス

キーワード：ラマンレーザ 高Q値ナノ共振器 シリコンフォトニクス 誘導ラマン散乱

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、シリコン製フォトニック結晶ナノ共振器の高品質化を追求しながら、非線形光学現象の増強を利用した革新的光デバイスの創出を目指してきた。2013年には、高 Q 値ナノ共振器を用いて、従来の1万分の1のしきい値で発振するシリコンラマンレーザを開発した(図1)。シリコンラマンレーザは安定に室温連続発振する唯一のシリコンレーザである。その発振メカニズムは、2014~2017年に行った科研費-若手Aにおいて明らかとした(本報告書の後半に記されている発表論文には若手Aで行った研究成果も一部含まれるが、本文からは除いた)。

半世紀の間、全てのラマンレーザ、ラマン増幅素子は、レーザ光で励起して誘導ラマン利得を発生させてきた。シリコンのラマンバンド幅は、ガラスの1万分の1である。そのため、広帯域でのラマン増幅は、単一レーザ波長による励起では不可能である。さらに、ナノ共振器ラマンレーザは、その共鳴波長に励起レーザ光の波長を一致させる必要があり、応用範囲が制限されやすい特徴を持つ。これは、ラマンレーザに限らずパッシブ機能をもつ高 Q 値微小共振器に共通の課題である。実用的なシリコンレーザは、IT技術の大幅な省エネ化、高速化をもたらすと期待されており、本デバイスの欠点を克服することは産業の観点からも重要である。

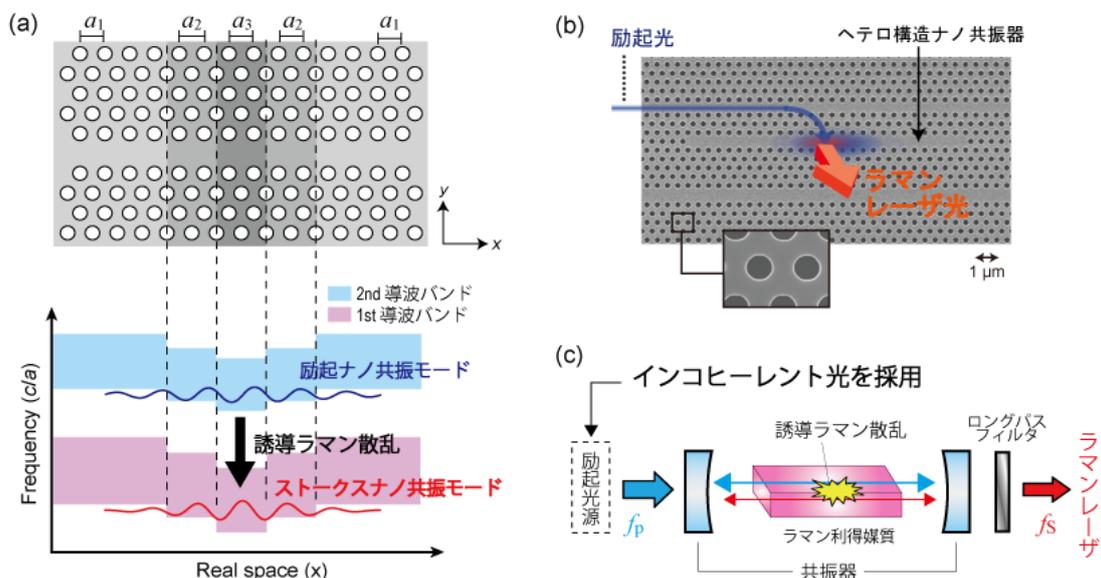


図1. (a) ラマンレーザに用いたナノ共振器の構造とバンド図. (b) シリコンラマンレーザの電子顕微鏡写真と動作イメージ. (c) インコヒーレント光源を採用したラマンレーザの概略図.

2. 研究の目的

本研究では、図1(c)に示すように、ブロードなスペクトルを持つインコヒーレント光を用いて、幅広い波長範囲において誘導ラマン利得を発生させることを目指した。非常に低いしきい値を有するナノ共振器ラマンレーザでは理論的に可能と予測されている。非線形光学に新展開をもたらさうる未知なる学理を、高品質フォトニック結晶サンプルと、精緻な顕微分光技術を駆使して明らかにすることを目指した。インコヒーレント光励起で誘導ラマン散乱を発生させることができれば、100チャンネルを超える多波長発振、50nmを超える波長範囲での低ノイズ光増幅が、間接遷移型半導体であるシリコンにおいて期待できる。

3. 研究の方法

図2(a)に本研究で構築した測定系の1例を示す。フォトニック結晶サンプルを励起するインコヒーレント光源には、スーパーluminescentダイオード(SLD)を用いた。SLDは、図2(b)に示すように、40nm程度の発光半値幅を持つ。アイソレータを挿入することで、戻り光の影響を抑えている。赤線で示したスペクトルは、バンド幅3nmを持つ波長可変フィルタ(OTF)を通した後のスペクトルである。実験結果の理解が容易にするために、OTFにより不要な波長成分は除去してサンプルの励起導波路に照射した。

図2(c)は、従来の研究で用いていた波長可変レーザのスペクトルである。その線幅は4fmである。これは Q 値100万を持つナノ共振器の共鳴スペクトルが持つ半値幅の約500分の1である。ナノ共振器の共鳴波長は、温度1°Cの変化で80pmシフトする。そのため、実際には、温度変化に合わせて波長可変レーザの動作波長を制御する必要がある。これは応用においては好ましくない。さらに、CMOS互換プロセスで作製されたナノ共振器の共鳴波長は、設計波長から10nm程度ずれることも珍しくない。同一チップ上に同じ構造を持つナノ共振器を作製し

た場合でも、その波長は 2 nm 程度ばらつく。SLD 光源は、これらの波長揺らぎがあったとしても、安定してナノ共振器を光らせる利点を持つ。そのため、シリコンラマンレーザにかぎらず、インコヒーレント励起は様々な応用において有用と思われる。

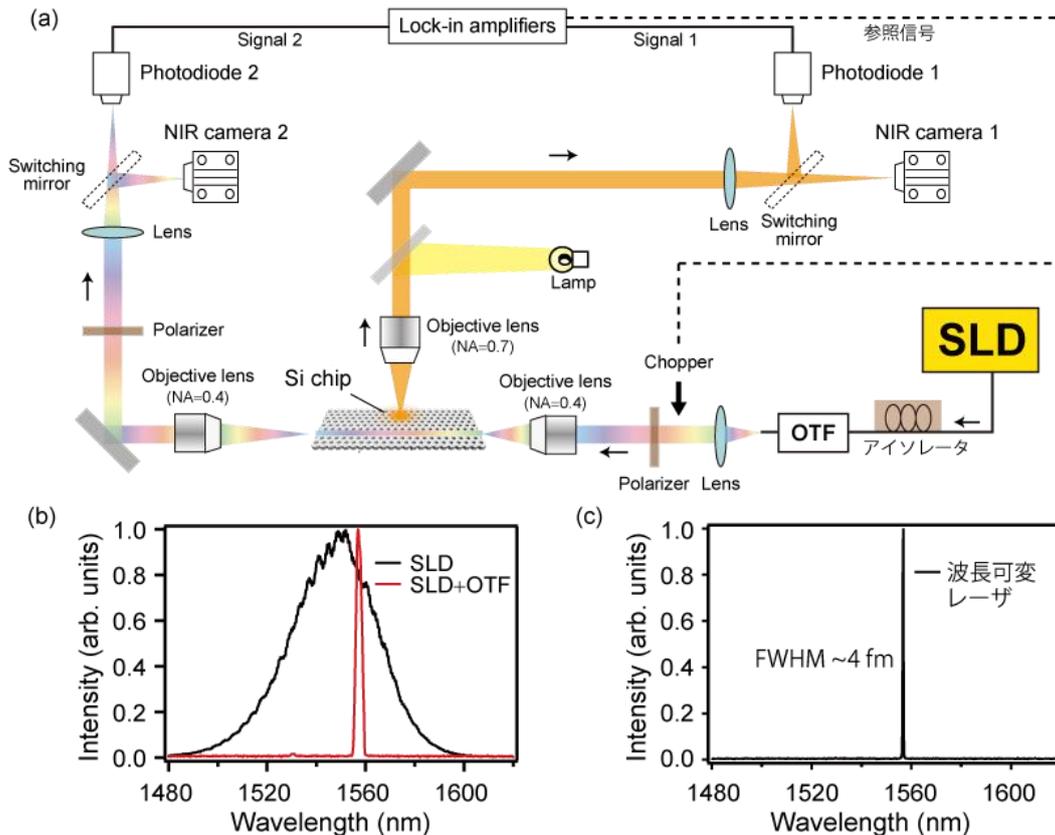


図 2. (a) インコヒーレント光源である SLD を励起光源として組み込んだ顕微分光測定系. (b) SLD のスペクトル (黒) とバンド幅 3 nm の波長フィルタ (OTF) を通した際のスペクトル (赤). (c) 通常の測定で利用される波長可変レーザのスペクトル.

4. 研究成果

(1) インコヒーレント光励起による誘導ラマン散乱

図 3(a)は、SLD 光により励起されたナノ共振器シリコンラマンレーザのラマン散乱スペクトルである。図 1(a)に示す励起ナノ共振モードを SLD を最大出力に設定して (図 2b に示したスペクトルとは異なる波長を持つ光源を用いた)、ストークスナノ共振モードから放出されるラマン光を測定した。検出には、液体窒素冷却 InGaAs を用いた。y 軸は、検出器によって測定されたフォトンカウントを示す。1533.25 nm にストークスナノ共振モードに由来する強いラマンピーク (56 カウント/秒) が得られた。1520 nm および 1523 nm のピークは、ナノ共振器の高次共鳴モードに由来する。

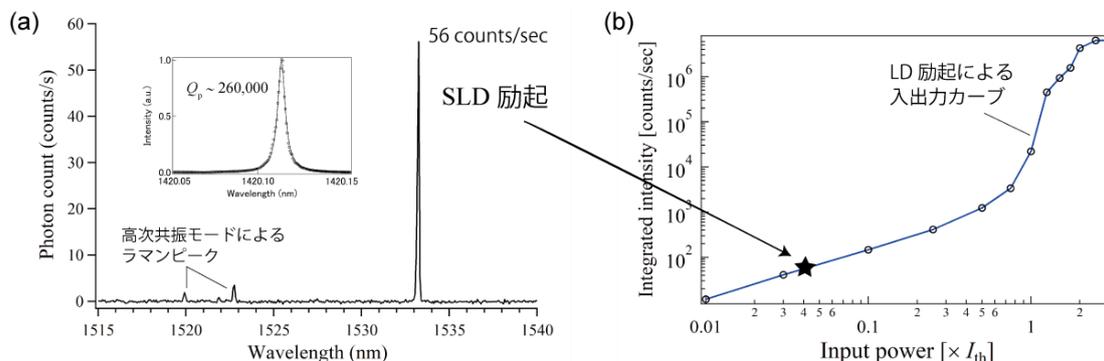


図 3. (a) SLD 励起によるラマン散乱スペクトル. 挿入図は励起ナノ共振モードの共鳴スペクトル. (b) レーザ励起によるラマンレーザの入出力特性.

図 3(b) は、図 3(a)のサンプルをレーザ光源により励起してラマンレーザ発振させたときの入出力特性である。x 軸はしきい値 I_{th} で規格化されている。図 2(a)で得られた 56 カウント/秒は、レーザ励起した際のデータと比べると、 $0.04 \times I_{th}$ に対応している。そのため、図 3(a) で得られたラマン散乱は自然ラマン散乱であり誘導ラマン散乱ではないだろう。励起ナノ共振モードに結合したインコヒーレント光の強度は 4 nW と見積もられた。これは、SLD の出力 20 mW と、測定系の全損失 70dB から見積もられる強度と一致した。SLD を用いてラマンレーザ発振を誘発

するためには、測定系の損失を改善する必要がある。全損失のうち、SLD のスペクトル半値幅と励起ナノ共振モードの共鳴ピークの半値幅の不一致による損失が 40dB、導波路端面における結合損失が 17dB と大きい。この部分の改善はすぐにはできなかったが不可能ではない。さらに(3)で後述するように、ラマンレーザのしきい値を下げることで SLD 励起によるラマンレーザ発振の可能性が高まる。

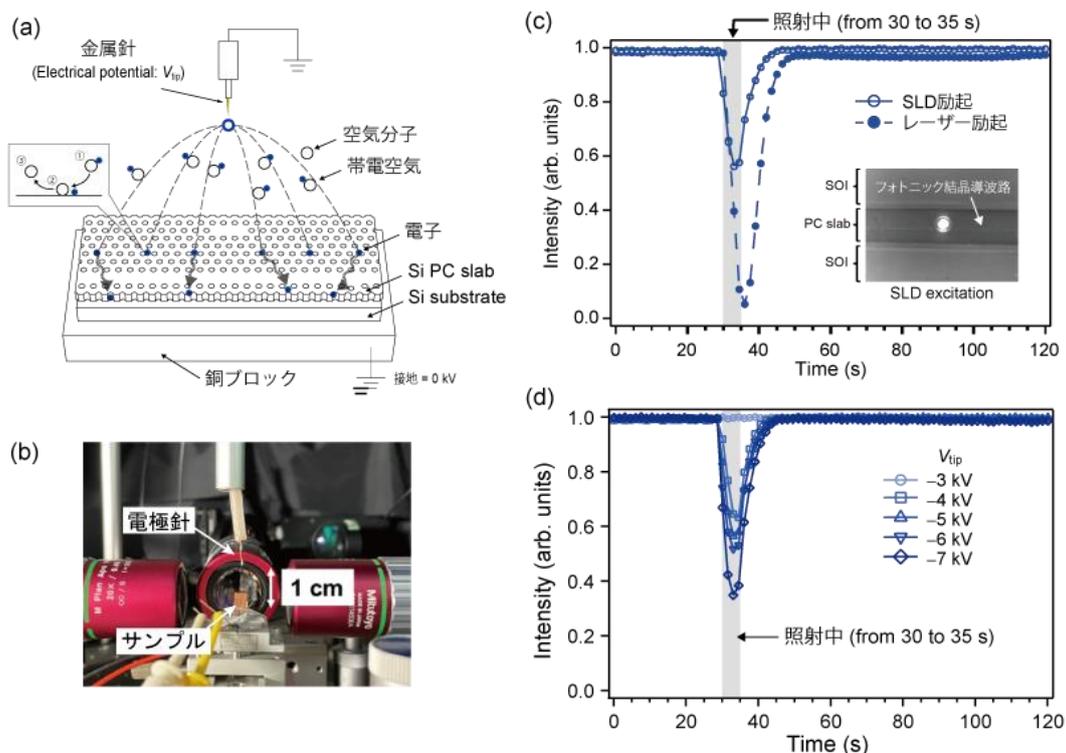


図 4. (a) L3 共振器への空間電荷の照射イメージ. (b) 実験装置の写真. (c) 負電荷を 5 秒間照射した際の発光強度の時間変化をブロードな SLD 励起とレーザー励起で比較. (d) SLD 励起された L3 共振器が、5 秒間、負電荷にさらされた際の発光強度変化.

(2) インコヒーレント光で励起されたフォトニック結晶デバイスの空間電荷応答

①高 Q 値ナノ共振器を用いた空間電荷検知

予想を上回る SLD 光源の利用方法として、空間電荷検知技術の開発を行った。実験方法は産総研・菊永和也氏に指導いただいた。図 4(a) は、照射された負の空間電荷が L3 共振器に電子を受け渡す様子である。電位 V_{tip} を持つ電極針からコロナ放電により生じた空間電荷は、電気力線に沿ってサンプルが固定されている銅ブロック方向に移動する。シリコン表面において余剰な電荷が空間電荷からシリコンに移送される。シリコンに移送された電荷は自由キャリア吸収により共振器内の光を吸収すると予想される。

図 4(c) は 5 秒間、負の空間電荷を照射した際の発光強度変化を、レーザー励起と SLD 励起の場合について示している。SLD 励起の方が発光強度の減衰が小さい。SLD はブロードなスペクトルを持つため、電荷照射によりナノ共振器の共振ピーク波長が変化したとしても励起効率が低下しない。図 4(d) は、電極針の V_{tip} を $-3 \text{ kV} \sim -7 \text{ kV}$ の範囲で変えたときの共振器発光の時間変化である。 -7 kV は標準的なイオナイザーで使用される電位である。光だけを用いて空間電荷を検知する小型センサーは産業上の利点が多いため、シリコンフォトニック結晶デバイスの応用出口として有望である。今後も SLD 光源を利用して研究を加速させていく。

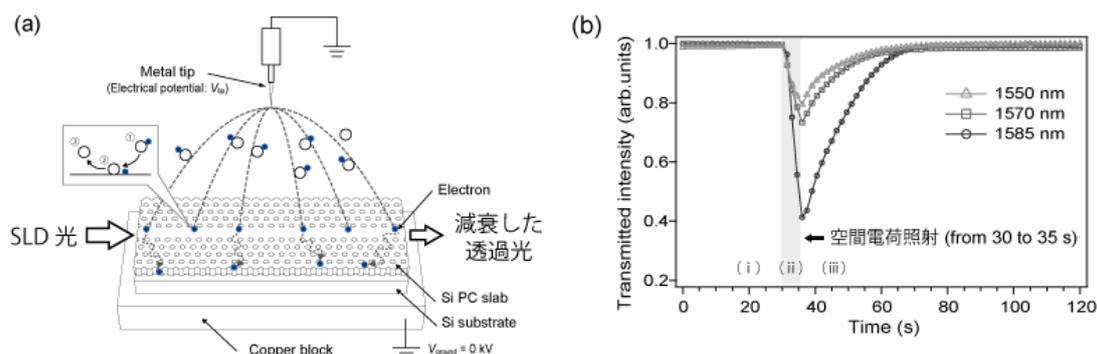


図 5. (a) フォトニック結晶導波路への空間電荷の照射イメージ. (b) SLD 励起されたフォトニック結晶導波路が、5 秒間、負電荷にさらされた際の透過光強度変化.

②フォトニック結晶導波路を用いた空間電荷検知

図 5(a) は、ナノ共振器ではなくフォトニック結晶導波路を用いた空間電荷検知の概略である。図 5(b) は、導波路に入射する SLD の波長を変えることにより、検知感度を変えられることを示している。フォトニック結晶導波路の群速度が強い波長依存性を持つことを利用している。

(3) ナノ共振器シリコンラマンレーザの低しきい値化

インコヒーレント光励起によりラマンレーザ発振を起こすには、発振しきい値をさげることも効果的である。そこで、誘導ラマン散乱を強くすること、ストークスナノ共振モードの Q 値を高めること、導波路とナノ共振器の結合効率を改善する手法を試した。

①動作波長を 1.2 μm に短くしたナノ共振器における誘導ラマン散乱の増加

ナノ共振器の誘導ラマン散乱は、短波長において大きくなると予想される。図 6(a)–(c)は、開発した 1.2 μm 帯ラマンレーザの概略である。実験で確認されたしきい値は、2 つの共振モードの Q 値から予測されるしきい値の 3 分の 2 程度であった。

②機械学習を用いて Q 値を向上させたナノ共振器によるサブ 100 μW しきい値

京都大学・浅野卓氏、野田進氏は、図 1(a)に示した 2 つのナノ共振モードの設計 Q 値を高めたラマンレーザを機械学習により設計した。その構造を作製したところ、50 nW 以下のしきい値が確認された。図 6(d)–(f)は実験結果の要約である。現状では作製歩留まりが低いため、今後のプロセス改善が重要である。

③励起導波路にヘテロミラーを導入したナノ共振器による低しきい値化

図 7(a) に示すように、ラマンレーザの励起導波路に反射ミラーを導入した構造におけるしきい値をモード結合理論により検討した。導波路と励起ナノ共振モードの結合効率を高めることができるため、従来のしきい値を半分に低減できることが分かった。実験でもしきい値の低下を示唆する結果が得られた。

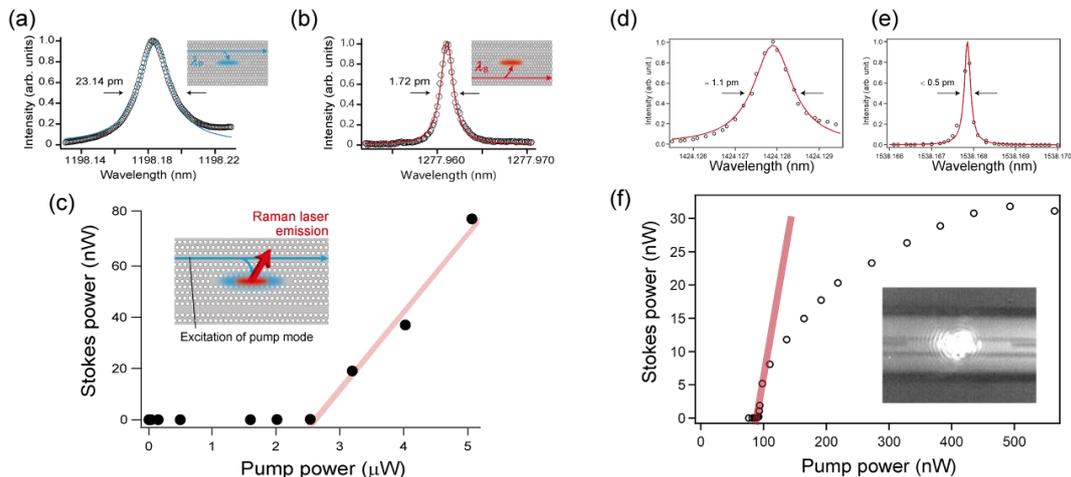


図 6. 1.2 μm 帯で動作するナノ共振器シリコンラマンレーザの励起ナノ共振モードの共鳴スペクトル(a)、ストークスモードの共鳴スペクトル(b)、入出力特性(c)。機械学習で Q 値を増加させたナノ共振器シリコンラマンレーザの励起ナノ共振モードの共鳴スペクトル(d)、ストークスモードの共鳴スペクトル(e)、入出力特性(f)。

(4) CMOS 互換プロセスを用いて作製されたナノ共振器シリコンラマンレーザ

産総研・岡野誠氏の協力により、CMOS 互換プロセスで大量作製したナノ共振器シリコンラマンレーザにおいて、室温連続発振を確認した。現状の作製歩留まりは低い、熱処理の最適化などにより改善できるだろう。

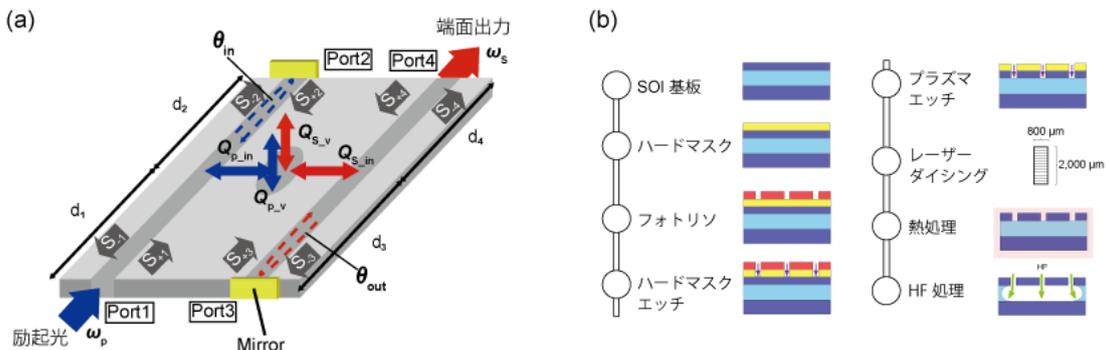


図 7. (a) ヘテロミラーを導入したシリコンラマンレーザの計算モデル。 (b) CMOS 互換プロセスのチャート。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Takahashi Yuki, Fujimoto Masanao, Kikunaga Kazuya, Takahashi Yasushi	4. 巻 30
2. 論文標題 Detection of ionized air using a photonic-crystal nanocavity excited by broadband light from a superluminescent diode	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 10694 ~ 10708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.454328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Okada Hiroko, Fujimoto Masanao, Tanaka Natsumi, Saito Yuki, Asano Takashi, Noda Susumu, Takahashi Yasushi	4. 巻 29
2. 論文標題 1.2- μm -band ultrahigh-Q photonic crystal nanocavities and their potential for Raman silicon lasers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 24396 ~ 24410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.431721	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Taro Kawakatsu, Takashi Asano, Susumu Noda, and Yasushi Takahashi	4. 巻 29
2. 論文標題 Sub-100-nW-threshold Raman silicon laser designed by a machine-learning method that optimizes the product of the cavity Q-factors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 17053-17068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.423470	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Satoshi Yasuda, Yuki Takahashi, Takashi Asano, Yuki Saito	4. 巻 29
2. 論文標題 Detection of negatively ionized air by using a Raman silicon nanocavity laser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 16228-16240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.423475	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Taro Kawakatsu, Daiki Yamashita, Takashi Asano, Susumu Noda, and Yasushi Takahashi	4. 巻 C8H_2
2. 論文標題 Raman Scattering Emission from a Silicon Photonic Nanocavity Excited by a Superluminescent Diode	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings CLEO Pacific Rim	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/CLEOPR.2020.C8H_2	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 -

1. 著者名 Takamasa Yasuda, Makoto Okano, Minoru Ohtsuka, Miyoshi Seki, Nobuyuki Yokoyama, and Yasushi Takahashi	4. 巻 3(4)
2. 論文標題 Raman silicon laser based on a nanocavity fabricated by photolithography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 814-823
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.389114	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jun Kurihara, Daiki Yamashita, Natsumi Tanaka, Takashi Asano, Susumu Noda, and Yasushi Takahashi	4. 巻 26(2)
2. 論文標題 Detrimental fluctuation of frequency spacing between the two high-quality resonant modes in a Raman silicon nanocavity laser	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 8300112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTQE.2019.2925718	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 -

1. 著者名 Yukiko Yamauchi, Makoto Okano, Hiroaki Shishido, Susumu Noda, and Yasushi Takahashi	4. 巻 2(7)
2. 論文標題 Implementing Raman silicon nanocavity laser for integrated optical circuits by using a (100) SOI wafer with a 45-degree-rotated top silicon layer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 2098-2112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.2.002098	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shiozaki Risa, Itoh Takahiro, Takahashi Yasushi	4. 巻 37
2. 論文標題 Utilizing Broadband Light From a Superluminescent Diode for Excitation of Photonic Crystal High-Q Nanocavities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 2458-2466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2019.2907736	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 -

1. 著者名 Kuwabara Mitsuki, Noda Susumu, Takahashi Yasushi	4. 巻 13
2. 論文標題 Ultrahigh-Q Photonic Nanocavity Devices on a Dual Thickness SOI Substrate Operating at Both 1.31- and 1.55- μm Telecommunication Wavelength Bands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Laser & Photonics Reviews	6. 最初と最後の頁 1800258 ~ 1800258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lpor.201800258	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 -

1. 著者名 Yamashita Daiki, Asano Takashi, noda Susumu, Takahashi Yasushi	4. 巻 5
2. 論文標題 Strongly asymmetric wavelength dependence of optical gain in nanocavity-based Raman silicon lasers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 1256 ~ 1256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.5.001256	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kohei Ashida, Makoto Okano, Takamasa Yasuda, Minoru Ohtsuka, Miyoshi Seki, Nobuyuki Yokoyama, Keiji Koshino, Koji Yamada, and Yasushi Takahashi	4. 巻 36
2. 論文標題 Photonic Crystal Nanocavities With an Average Q Factor of 1.9 Million Fabricated on a 300-mm-Wide SOI Wafer Using a CMOS-Compatible Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 4774-4782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2018.2861894	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 -

1. 著者名 Yamashita Daiki, Takahashi Yasushi, Kurihara Jun, Asano Takashi, Noda Susumu	4. 巻 10
2. 論文標題 Lasing Dynamics of Optically-Pumped Ultralow-Threshold Raman Silicon Nanocavity Lasers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 24039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.10.024039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高橋友基、太田雄士、東口岳樹、藤本正直、高橋和	4. 巻 73
2. 論文標題 爆発事故を誘発する静電気を光技術で検知する	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 化学工業	6. 最初と最後の頁 238-242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 高橋友基、保田賢志、高橋和	4. 巻 31
2. 論文標題 シリコンフォトニクスを用いた静電気検知～宇宙産業における事故の防止に向けて～	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 クリーンテクノロジー	6. 最初と最後の頁 23-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 高橋和、岡野誠、浅野卓、野田進	4. 巻 10
2. 論文標題 超高Q値シリコンフォトニック結晶光ナノ共振器の進展	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 応用物理2018年10月号	6. 最初と最後の頁 749-753
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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58件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 22件）

1. 発表者名 Masanao Fujimoto, Yuki Takahashi, Kazuya Kikunaga, and Yasushi Takahashi
2. 発表標題 Ionized Air Detection Using a Silicon Photonic Crystal Waveguide
3. 学会等名 The 12th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasushi Takahashi
2. 発表標題 Recent advances in Raman silicon lasers using high-Q nanocavities and their application
3. 学会等名 Optics and Photonics Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋和
2. 発表標題 高Q値シリコンラマンレーザ研究の現状と応用
3. 学会等名 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会 第3回INE Link 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Takahashi, Satoshi Yasuda, Masanao Fujimoto, Takashi Asano, Kazuya Kikunaga, Susumu Noda, and Yasushi Takahashi
2. 発表標題 【学生が招待講演】Oscillation Interruption of a Raman Silicon Nanocavity Laser Induced by Positively Ionized-Air Irradiation
3. 学会等名 Nonlinear Optics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Yasuda, Yuki Takahashi, Takashi Asano, Susumu Noda and Yasushi Takahashi
2. 発表標題 Electrostatic charge sensing using nanocavity-based Raman silicon laser
3. 学会等名 SPIE Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasushi Takahashi
2. 発表標題 Advanced fabrication of Raman silicon lasers using photonic crystal high-Q nanocavities
3. 学会等名 25th Optoelectronics and Communication Conference (OECC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taro Kawakatsu, Daiki Yamashita, Takashi Asano, Susumu Noda, and Yasushi Takahashi
2. 発表標題 Raman Scattering Emission from a Silicon Photonic Nanocavity Excited by a Superluminescent Diode
3. 学会等名 CLEO Pacific Rim (CLEO-PR 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋和
2. 発表標題 高Q値シリコンフォトニック結晶共振器を用いた独創的光デバイス
3. 学会等名 応用物理学会関西支部平成30年度第3回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukiko Yamauchi, Makoto Okano, Susumu Noda, Yasushi Takahashi
2. 発表標題 【 Best Student Paper Award受賞】High-Q Nanocavity-Based Raman Laser Fabricated on a (100) SOI Substrate with a 45-Degree-Rotated Top Silicon Layer
3. 学会等名 CLEO Pacific Rim (CLEO-PR 2018), Hong Kong, China (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 シリコンラマンレーザーによる静電気センサ	発明者 高橋和, 保田賢志, 浅野卓, 野田進	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-031917号	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 静電気センサ	発明者 高橋和, 保田賢志, 浅野卓, 野田進	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-031080号	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>研究室ホームページ http://www2.pe.osakafu-u.ac.jp/pe9/ 応用物理学会関西支部貢献賞の受賞 「プレゼンスキル向上セミナー等の企画・運営を通じた若手研究者の育成及び支部会員サービスへの貢献」 https://jsap-kansai.jp/about/award/ 学生の受賞アナウンス 1 - 大阪府立大学大学院工学研究科ホームページ http://www.eng.osakafu-u.ac.jp/archives/4548 学生の受賞アナウンス 2 - 大阪府立大学大学院工学研究科ホームページ http://www.eng.osakafu-u.ac.jp/archives/4595 学生の受賞アナウンス 3 - 大阪府立大学大学院工学研究科ホームページ http://www.eng.osakafu-u.ac.jp/archives/3927 学生の受賞アナウンス 4 - 応用物理学会シリコンテクノロジー分科会ホームページ https://annex.jsap.or.jp/silicon/awards/archive/award-2017 学生の受賞アナウンス 5 - 大阪府立大学大学院工学研究科ホームページ http://www.eng.osakafu-u.ac.jp/archives/4190</p>

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
研究協力者	野田 進 (Noda Susumu)	京都大学	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	浅野 卓 (Asano Takashi)	京都大学	
研究協力者	岡野 誠 (Okano Makoto)	産業技術総合研究所	
研究協力者	菊永 和也 (Kikunaga Kazuya)	産業技術総合研究所	

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