

# 研究者らが初の電流注入型 GeSn レーザを実証

もし材料科学の研究者やエンジニアがそれなりのきっかけを持つことがあれば、彼らはシリコン (Si) やゲルマニウム (Ge)、スズ (Sn) を使用してモノシリックレーザを開発するだろう。これらはすべて同じIV族元素の半導体である。その理由は何なのか。これらの開発により、マイクロプロセッシングの速度と効率が大幅に向上するとともに、将来のオンチップフォトニクスやナノエレクトロニクスのサイズやコストを削減できる可能性がある。なぜなら、GeSn エピタキシーが、相補型金属酸化半導体 (Complementary Metal-Oxide Semiconductor: CMOS) プロセスと完全に互換性があり、Sn 含有量が8%を超える GeSn は、広い波長範囲で効率的な発光を可能にするダイレクトバンドギャップ材料であるからである。よっ

て生化学センシング、分光法、パイロメトリーなどの中赤外アプリケーションに汎用性がある。

近年、研究者らは光励起された GeSn レーザの開発において大きく進歩を重ねてきた。しかし先月まで、電流注入型 GeSn レーザを達成することは困難なままであった。米アーカンソー大 (University of Arkansas) 電気工学教授のシュイチン・フィッシャー・ユ氏 (Shui-Qing 'Fisher' Yu) が率いるアメリカに拠点を置く材料科学研究者らが、GeSn で作られた初の電流注入型レーザであると主張するものを実証したのはそのような時だった<sup>(1)</sup>。この研究は、空軍科学研究所の支援により行われた。

ユ氏とアーカンソー大マイクロエレクトロニクスフォトニクスの博士課程

の学生であるイーイン・チョウ氏 (Yiyin Zhou) は、米アリゾナ州立大 (Arizona State University)、米マサチューセッツ大ボストン校 (University of Massachusetts Boston)、米ダートマス大 (Dartmouth College) 及び米ウィルス大 (Wilkes University) など、いくつかの研究機関の同僚と協力した。また研究者たちは、半導体機器メーカーの米アークトニクス社 (Arktonics) とも協力した。

## 構造成長プロセス

論文によるとレーザダイオードの構造は、200mm厚の(100)Si基板上に、市販されているプリカーサを備えた、業界標準の化学蒸着 (Chemical Vapor Deposition: CVD) リアクターを使用して成長させた。研究者によると、

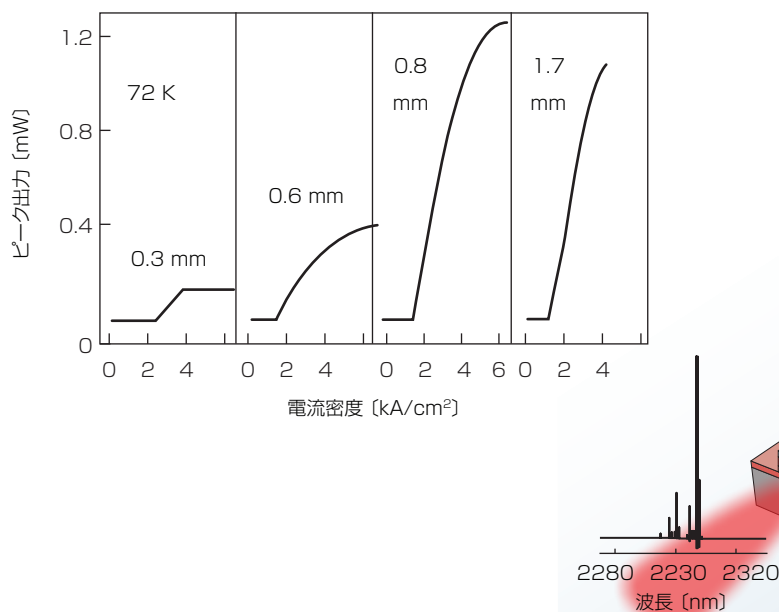
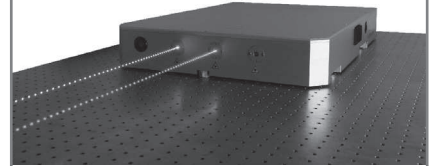


図1 電流注入型 GeSn レーザと、その出力対電流及びスペクトル特性の概略図。(画像提供: アーカンソー大)

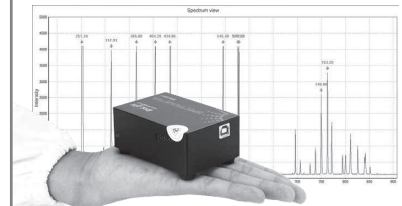
レーザー技術の進歩と共に 50年  
レーザー・光技術の  
ソリューションプロバイダ



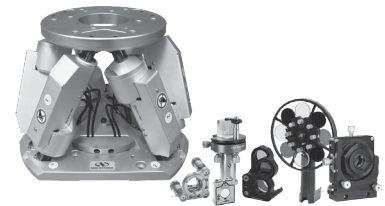
レーザー光源



光計測器・測定器



光学関連部品・光周辺機器



検査装置・  
イメージング機器



加工装置



光技術に関するご相談は

<https://www.japanlaser.co.jp/>

E-mail: [jlc@japanlaser.co.jp](mailto:jlc@japanlaser.co.jp)



本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1

TEL: 03-5285-0861

大阪支店 TEL: 06-6323-7286

名古屋支店 TEL: 052-205-9711

GeSn/SiGeSn ダブルヘテロ構造を成長させることでキャリア及び光の閉じ込めが保証され、GeSn レーザ間のタイプIIバンドアライメントによる正孔リークに対処するために、ダイオードレーザが製造された。GeSn と上部 SiGeSn バリアである p 型上部 SiGeSn 層は、正孔注入を容易にするように設計されている。

この趣旨で、5つのエピタキシャル層を下部から上部に成長させた。1層目は、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  の n 型ドーピングを行った、500nm 厚さのひずみ緩和 Ge バッファ層である。2層目は、ノミナル値 Sn 組成 8% (下部) ~ 11% (上部) 及び  $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  の n 型ドーピングを行った、自発的緩和強化成長法による 700nm 厚さの GeSn バッファ層である。3層目は、ノミナル値固有厚さ 1000nm の  $\text{Ge}_{0.89}\text{Sn}_{0.11}$  活性層である。第4層は、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  の p 型ドーピングを行った 170nm 厚さの  $\text{Si}_{0.03}\text{Ge}_{0.89}\text{Sn}_{0.08}$  キャップ層である。そして最後は、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  の p 型ドーピングを行った 70nm 厚さの  $\text{Si}_{0.03}\text{Ge}_{0.89}\text{Sn}_{0.08}$  抵抗接点層である。すべてのドーピング成長は、対応するドーピングガスを導入することによってその場で行われた。研究者は X 線回折と透過型電子顕微鏡技術を使用して、Sn の組成と層の厚さを測定した。

サンプルを成長させた後、 $80 \mu\text{m}$  幅のリッジ導波路レーザ構造をウェットエッチングによって製造し、0.3、0.5、0.8、及び 1.7mm のキャビティ長を持つ個々のデバイスに劈開された。金属接点用の GeSn バッファ層を露出させるために、エッチング深さを  $1.4 \mu\text{m}$  に制御した。Cr と Au は電子ビーム蒸着によって、それぞれ 10nm と 350nm の厚さのリフトオフプロセスを通じ

て、p 電極と n 電極として堆積された。Si 基板を  $140 \mu\text{m}$  の厚さにラップ仕上げした後、へき開してファブリペローキャビティを形成した。最後に、デバイスを Si チップキャリアにワイヤボンディングし、低温測定用のクライオスタットに取り付けた。

リッジ導波路 GeSn レーザを製造した後、パルスレーザ発振が 100K まで観察された。しきい値は 10K において  $598 \text{A}/\text{cm}^2$  と測定された。特性温度  $T_0$  が、異なるデバイスの 10 から 77K の温度範囲において、76 から 99K へと引き上げられた。しきい値は 10K において  $598 \text{A}/\text{cm}^2$  と測定された。電流-電圧 (IV) 測定は、直流ソース測定ユニットを使用して実行された。パルス測定では、パルス高コンプライアンス電圧源を使用してレーザを駆動し、較正済みの磁気結合電流計で電流を監視した (図1)。

エレクトロルミネッセンス及びフォトルミネッセンス発光シグナルは、モノクロメータ (10nm の分解能) 及び液体窒素で冷却した InSb 検出器 (応答範囲  $1 \sim 5.5 \mu\text{m}$ ) を介して収集、分析された。高分解能スペクトルは、InSb 検出器を備えたフーリエ変換赤外分光 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) 装置を使用して取得した。測定では  $0.25 \text{cm}^{-1}$  の分解能のステップスキャンモードが使用された。

この GeSn レーザのような電流注入型レーザは、ドーピングと構造の構築が必要なため、実現にはより困難が伴う。ただし、デバイスのパフォーマンスをさらに向上させるために、代替構造設計の調査が進行中である。実験には、Sn 含有量を増やしてバンドギャップの直接性を高め、注入効率を上げることが含まれる。 (John Lewis)

参考文献

(1) Y. Zhou et al., Optica, 7, 8, 924-928 (2020); <https://doi.org/10.1364/optica.395687>.