

窒化シリコンプラットフォームで SBS効果の活用方法を開発

サリー・コール・ジョンソン

誘導ブリルアン散乱 (SBS) コンポーネントとマイクロ波フォトニクス機能モジュールを1つの回路に統合することで、前例にないほど高性能な完全統合型のマイクロ波フォニックフィルタが開発された。

蘭トゥエンテ大の研究グループは、大規模な回路内のチップ上に音波と光を捕捉する手法を考案した。光信号をフィルタリング、増幅、処理する能力は、量子光学のみならず、新しい電気通信技術やセンサにとっても極めて重要である。

同研究グループは、マイクロ波フォ

ニックフィルタを構築するために、誘導ブリルアン散乱 (SBS) に着目した。この手法では、2本の微調整されたレーザを使用して、人間の聴覚しきい値の100万倍もの高い周波数の音波を発生させ、導波路内に捕捉する (図1)。導波路を介して送信された光は音波と相互作用し、スペクトルのごくわずかな

特定の部分を反射して信号をフィルタリングする。

SBSは非常に強力な非線形光学効果の1つであり、長年にわたって光ファイバでの使用が研究されてきた。最終的には、高精度センサ、低しきい値、狭線幅レーザ、およびそれに基づく狭帯域フィルタの実証に成功した。

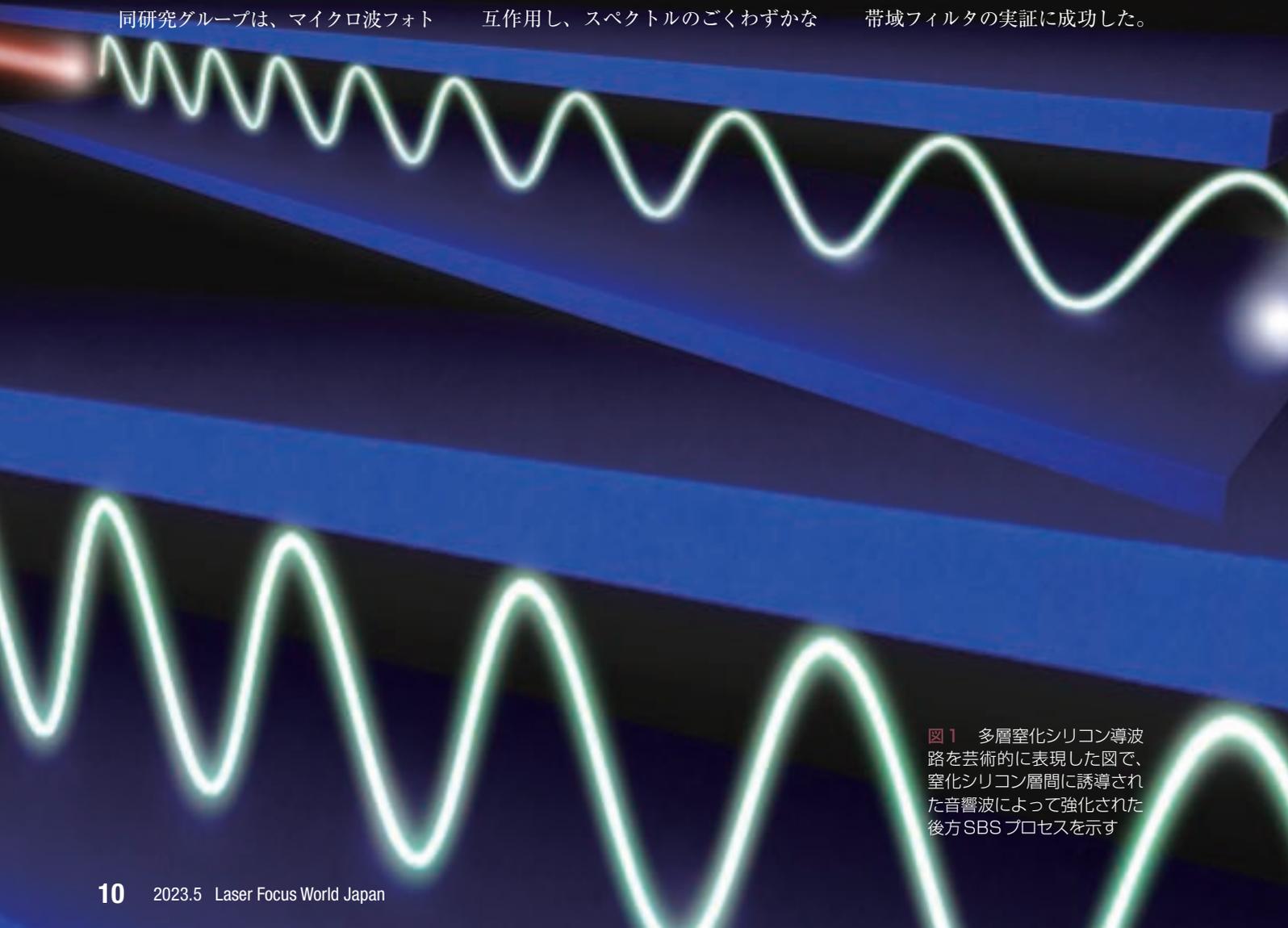


図1 多層窒化シリコン導波路を芸術的に表現した図で、窒化シリコン層間に誘導された音響波によって強化された後方SBSプロセスを示す

さらに最近では、センチメートル長のチップスケールのフォトニックデバイスでSBSを活用する研究へと関心が移りつつある。「すでにさまざまなプラットフォームで実験的実証が行われているが、SBSデバイスはまだ単体のものが多い。SBSデバイスを大規模かつ汎用的な回路に組み込んで、その可能性を十分に引き出すことは困難だ」と、非線形ナノフォトニクスグループを率いるデイビッド・マルパン教授 (David Marpaung) は言う。

窒化シリコンは、低損失で汎用性の高い、新たなフォトニック集積プラットフォームである。「しかし、これまでの窒化シリコン導波路でSBSを測定すると、利得係数が非常に低く、ほとんどの用途には適用が困難だった」と、マルパン教授は指摘する。

同教授のグループの研究は、複雑な製造工程を導入せずに、熟慮された窒化シリコンプラットフォームでSBS効果を向上させる、という考案に着想を得たものである。「実現すれば、SBS素子を大規模な回路に組み込み、波長可変レーザ、周波数コム、プログラマブルフォトニック回路などの新興技術と組み合わせることができる」と、同教授は説明する。

非線形光学とSBS

SBSは光波と音響波が相互作用であり、「導波路やファイバ内の光が十分に強い場合、構造体に応力と変位が生じる」と、マルパン教授は言う。「この変位によって、密度の変化(音響波)と屈折率の変化が生じる。さらに、この屈折率の変化によって、移動回折格子が形成され、光が反射されて周波数が低下する」。

効率的にSBSを誘導するためには、光波と音響波が同時に誘導される必要

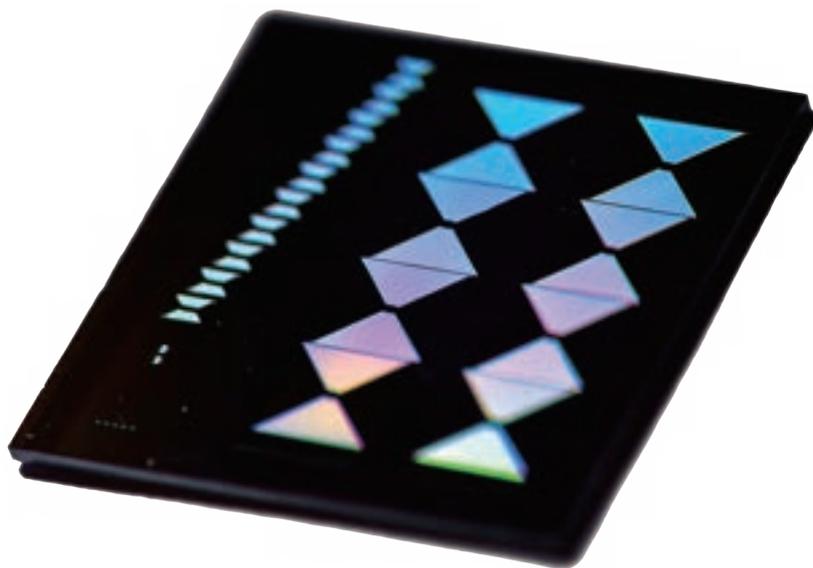


図2 研究グループのチップの顕微鏡写真

がある。窒化ケイ素内での音波の速度は酸化ケイ素内ではるかに速いため、これまでの窒化ケイ素での実証実験では、常に音響波が基板に漏れてしまっていた。

「当グループは、窒化シリコン層を1層ではなく2層にすると、ある条件下で音響波がその2層に挟まれた中間層に閉じ込められることを発見した」と、マルパン教授は言う。「その間、光波もこの2層の窒化シリコンの間に閉じ込められる。その結果、光波と音響波が大きく重なり合い、この窒化シリコンプラットフォームで効率的にSBSを誘導できた」。

同グループの最新の研究の突破口は、汎用性の高い低損失の窒化シリコンプラットフォームでSBS効果を活用できたことだ(図2)。

同プラットフォームにおけるブリルアン利得係数の高さは、マイクロ波フォトニクスへの応用に十分である。「SBSコンポーネントとマイクロ波フォトニクスの機能モジュールを1つの回路に統合することで、前例にないほど高性能な完全統合型のマイクロ波フォ

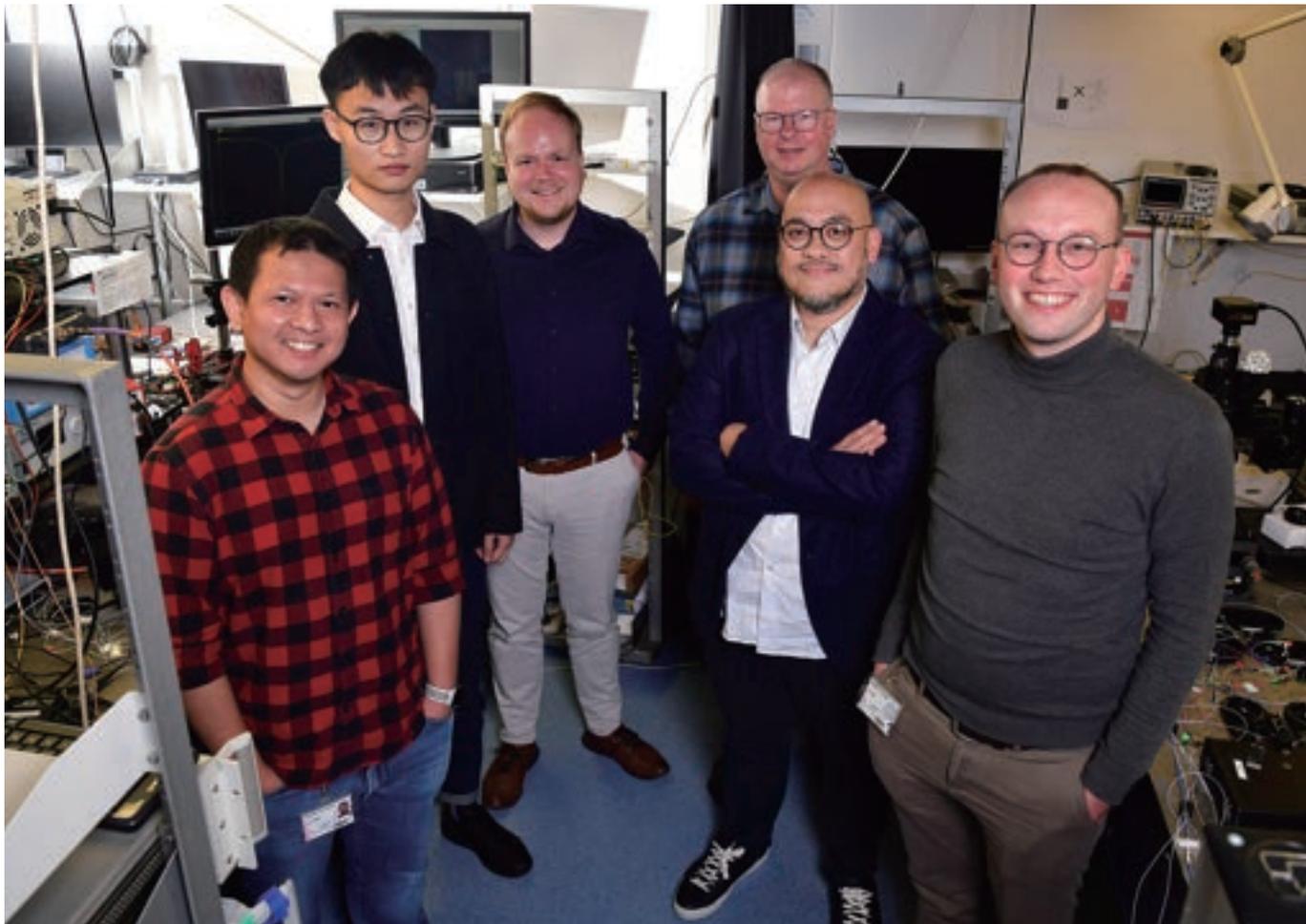
トニックフィルタを構築できた」と、マルパン教授は述べている。

そして、導波路の設計パラメータを最適化することで、「同プラットフォームのブリルアン利得係数をさらに高めることができ、狭線幅レーザ、光周波数コム、集積回路装置など、他のSBSベースの用途に応用できるようになる」と、同教授は付け加えている。

導波路の構造

同グループの窒化シリコンプラットフォームは、2種類の導波路で構成されている。「1つは、対称型の二重編(SDS)導波路で、2層の窒化シリコン層の間には幅の広い隙間(約500ナノメートル)がある。もう1つは、非対称型の二重編(ADS)導波路で、幅の狭い隙間(約100ナノメートル)がある」と、マルパン教授は言う。

これら2種類の導波路は、ほぼ同じ光学特性を有しているが、同グループが驚いたことに、SDS導波路はSBS応答を強く示し、ADS導波路はごくわずかにしかSBS応答を示さないのだ。「この現象は、2層の窒化シリコン層間



チーム(左から右): オッキー・ダウレイ氏、カিশユエン・イエ氏、ロエル・ポッター氏、ピーター・ファン・テル・スロット氏、デイビッド・マルバン教授、イヴァン・クレイバー氏

の距離によって大きく左右されることが、後に判明した」と、マルバン教授は付け加えている。

この特性で興味深いのは、その2層間の中間層の厚さを制御することで、回路の特定の部分内で、SBS応答を選択的に強化、または抑制できることである。

「当設計において最大の課題は、導波路の伝搬損失だ」と、マルバン教授は言う。「伝搬損失が少なければ、有効な導波路が長くなり、SBS利得を確保するために必要なポンプの消費電力が軽減される。また、伝搬損失が少なければ、同プラットフォームのオンチップのブリルアンレーザのしきい値電

力も低くなる」。

マイクロ波フォトニクス

同グループの研究の中で最も重要な応用例として、マイクロ波フォトニクスが挙げられる。

「当プラットフォームを使用すると、超狭線幅のマイクロ波フォトニックフィルタを構築できる。また、当プラットフォームで波長可変レーザも設計できる。さらに、当プラットフォームのSBSは、プログラマブルフォトニック回路にも応用できる」と、マルバン教授は述べている。

今後、同研究グループは、「レーザ、検出器、マイクロ波フォトニック機能

モジュール、SBSコンポーネントを1つのチップに収めた完全統合型マイクロ波フォトニックシステムを構築したい」と、マルバン教授は言う。「成功すれば、SBSの可能性を最大限に引き出す、世界初の大規模なSBSマイクロ波フォトニック回路となる」。

同グループはまた、SBSコンポーネントを、波長可変レーザや周波数コムなど、他の有望な技術と組み合わせることで、マイクロ波フォトニクス以外にも応用を広げたいと考えている。

「そして他にも、SBSに応用でき、将来性のある、拡張性の高いフォトニック集積プラットフォームを研究している」と、マルバン教授は述べている。

LPWJ