

### 自動追跡集光器の原理検証

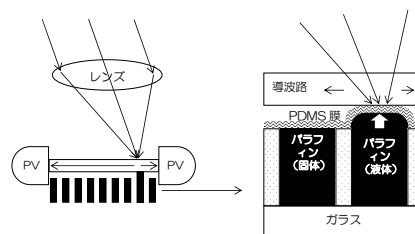
Proof of Principle Demonstration of a Self-Tracking Concentrator  
[V. Zagolla, E. Tremblay and C. Moser: Opt. Express, 22, No. S2 (2014) A498-A510]

太陽電池の製造にはコストがかかるため、できるだけ少ない面積で大きな起電力が得られるように、集光器を取り付ける方法がある。集光器が太陽光を捉えることができる立体角と集光の倍率は、輝度不変の法則によってトレードオフの関係にあるため、低倍率・大立体角か、高倍率・小立体角の選択となる。高倍率・小立体角の場合は、太陽の動き（日周運動と年周運動）を追尾する精密な二次元駆動機構が必要となるが、そのためにコストが生じる欠点がある。

本論文で提案されている方法は、焦点の熱を利用して自動的に太陽を追跡するものである。固定したレンズで太陽光を集光すると、太陽の移動とともに焦点が移動する。移動する焦点に追従して、焦点から導波路内に光が流れ込むようにするために、導波路下に48°Cで液化・膨張するパラフィン・ワックスを詰めたシリンダーを500 μm 間隔で配置する。焦点では加熱されたシリンダーが膨張し、導波路に接触して反射率を変化させ、導波路に光を導くのである。ただし、有効な入射角が±20°であるため、おもに太陽の年周運動に対応し、日周運動

には一次元の駆動機構（精密でなくてよい）を用意するものとしている。（図11、文献22）

単純な構造で目的とする機能を実現しており、興味深い。精密な二次元駆動機構と比較して、本論文の構造がどの程度コスト的に優位になるかが課題と考えられる。（奥平 陽介）



(左) 導波路両端に太陽電池を配置, (右) シリンダー拡大図

### 皮膚の光学的清澄化：光熱的穿孔形成皮膚および非穿孔形成皮膚の浸透性と脱水の比較研究

Optical Clearing of Human Skin: Comparative Study of Permeability and Dehydration of Intact and Photothermally Perforated Skin  
[E. A. Genina, A. N. Bashkatov, A. A. Korobko, E. A. Zubkov, V. V. Tuchin, I. Yaroslavsky and G. B. Altshuler: J. Biomed. Opt., 17, No. 13 (2008) 021102-1-8]

多くの光学的生体診断、治療、手術では、組織による強い光散乱効果により、深部へのアプローチが制限される。生体組織に対する光の進達深さを増加させるための方法のひとつとして、高浸透性の光学的清澄化剤（オプティカルクリアリングエージェント、OCA）の使用が検討されている。正常な皮膚組織では、角質層による皮膚のバリア機能により、OCAの皮膚内部への浸透速度は緩やかである。そのため、皮膚のバリア機能を低下させることでOCAの浸透を促進するための化学的および物理的な方法が提案されているが、効率的な方法は確立されていない。本論文では、光学的アプリケーションシステムを用いた角質層の穿孔化による効果的なOCA浸透促進法の検討を行っている。

本システムは、透明フィルム上に配列した多数の光吸収性炭素粉末の微小ドット（アプリケ）とフラッシュランプにより構成されている。皮膚組織表面に設置されたアプリケに対するフラッシュランプ照射により、局所的かつ瞬間的な温度上昇を誘発し、角質層に穿孔を作成することで、生体に対するダメージは与えず、皮膚のバリア機能

のみを低下させることが可能であるとしている。

実験では、ヒト腋窩から採取した *ex vivo* 皮膚組織サンプルに対して、光学的アプリケーションシステムによる角質層穿孔を行い、皮膚脱水のダイナミクスについて、角質層穿孔を行わない場合との比較評価を行っている。また、OCAとしてグリセロール溶液を皮膚組織表面に塗布し、グリセロール溶液の屈折率変化から、脱水量の推定に成功している。角質層穿孔およびグリセロールの適用を行った皮膚組織サンプルにおいて、脱水量および脱水のスピードが増加することを明らかにしている。（図10、文献35）

本論文では皮膚組織へのOCA剤浸透のスピード化と光学的清澄作用の増強において、光学的アプリケーションシステムが有効であることを実証している。今後の臨床応用に向けて、組織分光学的アプローチによる皮膚組織散乱係数ダイナミクスの定量評価や *in vivo* 皮膚組織に対する検討にも期待したい。（西館 泉）

### ハイブリッド 3D 光集積回路を用いた起動角運動量多重化型自由空間コヒーレント光通信

Free-Space Coherent Optical Communication with Orbital Angular, Momentum Multiplexing/Demultiplexing Using a Hybrid 3D Photonic Integrated Circuit  
[B. Guan, R. P. Scott, C. Qin, N. K. Fontaine, T. Su, C. Ferrari, M. Cappuzzo, F. Klemens, B. Keller, M. Earnshaw and S. J. B. Yoo: Opt. Express, 22, No. 1 (2014) 145-156]

本論文は起動角運動量状態をチャネルとした空間モード多重化型光コヒーレント通信用の信号多重化器/分割器の試作と試験的動作の報告である。近年の目覚ましい技術革新により、シングルモードファイバーを用いた光通信の伝送容量は爆発的に増加している。一方、その伝送容量は理論限界に近づいているといわれており、新たな伝送媒体の登場が期待されている。検討されているおもな通信方式には、マルチコアファイバーを用いた方式と、空間モードの多重化に基づく方式がある。後者の方式は、ファイバーで伝送する空間モードについて、数モードから十数モードまでの伝送を許容し、各空間モードを通信チャネルとして利用する方式である。本論文では、空間モードの自由度として起動角運動量を基底として採用している。提案されているデバイスは、シングルモードファイバーによる15チャネルの信号を-7次から+7次までの起動角運動量をもつ空間モードに変換しようとするものである。実際には、円環状に並べられたシングルモードファイ

バー出力端から、回転位相を満す位相差をもって光波が出力されており、純粋なモードに変換されているわけではない。動作試験の実験では、リトロ光学系を用いて、出射時の空間分布の鏡像を出力端の平面に結像させ、1つのデバイスで信号の多重化と分割の動作を試験している。この実験環境下においては、伝送エラーやチャネル間の混信、損失などは少なく済んでおり、エラーフリー通信の条件を満足している。（図10、文献26）

本論文では、起動角運動量を基底に空間モード多重化したという立場をとっているが、実際の構造をみると16本のシングルモードファイバー端に位相差を制御した出力を分割多重化しているに過ぎない。円環状に並べて空間配置しているが、鏡像を結像して入出力試験を行なっているため、空間配置の妥当性は左右対称性以外全く検証されていない。空間モードが多重化された光波自体を伝送する部分をどのように構成していくのかが注目される。（和田 篤）

シリコン上の高性能な CW 1.3  $\mu\text{m}$  量子ドットレーザーHigh Performance Continuous Wave 1.3  $\mu\text{m}$  Quantum Dot Lasers on Silicon

[A. Y. Liu, C. Zhang, J. Norman, A. Snyder, D. Lubyshev, J. M. Fastenau, A. W. K. Liu, A. C. Gossard and J. E. Bowers: Appl. Phys. Lett., 104, No. 4 (2014) 041104-1-4]

Si フォトニクスによる多くの光集積回路では、Si とは別の III-V 族ウェハ上に作製されたレーザーを Si にハイブリッド集積している。これにより高性能な光集積回路が報告されているものの、III-V 族ウェハはサイズが直径 150 mm 以下に制限されている点と高価である点から、ハイブリッド集積では Si フォトニクスの大量生産性を十分に生かすことが難しい。この課題に対し、Si 上の直接成長によるモノリシック集積で解決しようという試みがある。まず、量子井戸レーザーを作製した報告があるが、ヘテロエピタキシャル成長中の高密度な貫通転位によりその性能や信頼性が低く、実用化に至っていない。次に、量子ドットレーザーを作製した報告がある。量子ドットレーザーのキャリアはドットに局在しているため、量子井戸レーザーよりも非発光な欠陥の影響を受けにくいことから有望である。実際に波長 1.3  $\mu\text{m}$  の InAs 量子ドットレーザーが報告されているが、寸法が大きく（幅  $\sim 20 \mu\text{m}$ ）、CW 発振が確認されたのみである。以上を踏ま

え、本論文では市販の通信用レーザーと同程度の寸法で、III-V 族ウェハ上に作製されたレーザーと同程度の性能を示す Si 上直接成長の量子ドットレーザーが報告されている。レーザーのヘテロ構造は Si 上に成長させた Ge の上に分子線エピタキシー法で作製された。作製された量子ドットレーザーは閾値電流 16 mA、出力光パワー 176 mW、119°C までの温度で CW 発振した。また、レーザーの歩留まりについて、2つの異なるウェハ（直径 150 mm）から 330 個以上の CW 発振するレーザーが得られた。（図 10、文献 17）

III-V 族ウェハ上に作製したレーザーと同程度の性能をもつレーザーを Si 上に作製できたことは注目すべきことである。光源は Si フォトニクスの大きな課題のひとつであるが、この直接成長レーザーが選択肢のひとつになったと考える。次の課題として、このレーザーと光回路の効率のよい結合が挙げられる。（鈴木恵治郎）

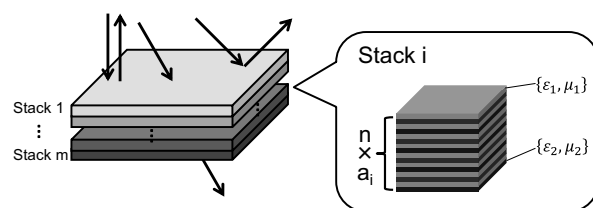
## 可視光域における入射角選択透過

Optical Broadband Angular Selectivity

[Y. Shen, D. Ye, I. Celanovic, S. G. Johnson, J. D. Joannopoulos and M. Soljačić: Science, 343, No. 6178 (2014) 1499-1501]

光の 3 要素、波長・偏光・方向に関して、波長フィルターや偏光素子については多くの研究例があるが、方向つまり角度の選択については広帯域で動作する素子がこれまでなかった。著者らは、図のように周期がスタックごとに異なるヘテロ構造の一次元フォトニック結晶を用いて、おのおのバンドギャップを重ね合わせることで、可視光全域において特定の視野角では透明だが、それ以外の角度では鏡として機能する構造を提案し、実証した。石英基板上に屈折率 1.477 の石英と屈折率 2.081 の  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  の膜を、1 スタックに 14 層として 6 スタック分、計 84 層積層したところ、ブリュースター角を満たす入射角  $55^\circ$  のとき、P 偏光は 98% 透過し、それ以外の角度の光は反射した。一方、S 偏光は、すべての角度で反射した。分光器と回転ステージを用いて測定した入射角と波長に対する透過率は、屈折率の波長分散を含んだ計算値とよく一致した。また、著者らは 1 以上の比透磁率をもつ材料を用いてインピーダンス整合条件を満たすことで、両偏光で機能する素子の設計を行っており、この素子の実証実験を今後の課題として挙げている。（図 4、文献 27）

単純な一次元フォトニック結晶を用いて、このような面白い現象が実現できることは興味深い。今後は、メタマテリアルの一種として、太陽エネルギー変換システムやのぞき見防止フィルム以外の新たな応用範囲への広がりを期待する。（水谷 彰夫）



一次元フォトニック結晶のヘテロ化による入射角選択透過の様子

## 四つ葉型アンテナを組み込んだナノワイヤー FET によるテラヘルツ波検出

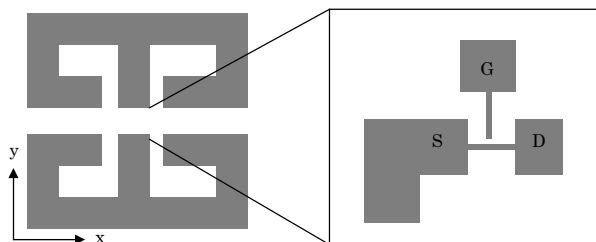
Nanowire Terahertz Detectors with a Resonant Four-Leaf-Clover-Shaped Antenna

[L. Viti, D. Coquillat, D. Ercolani, L. Sorba, W. Knap and M. S. Vitiello: Opt. Express, 22, No. 8 (2014) 8996-9003]

室温動作・小型・高感度を兼ね備えたテラヘルツ分光検出を目指し、四つ葉型アンテナを InAs ナノワイヤーによる横型 FET に組み込んだテラヘルツ波検出器を作製した。光学特性は四つ葉型アンテナの形状で決まり、全体の大きさを 330  $\mu\text{m}$  四方とすると、検出帯域は 0.3 THz をピークとして幅 15 GHz の狭帯域であった。また、図の y 偏光に対して x 偏光の検出強度は 85% 減衰しており、偏光選択性も高い。y 偏光のテラヘルツ波を入射し、 $V_{\text{SD}}$  を 0.025 V、 $V_G$  を 8 V としたときの S-D 間電流から電気的特性を算出することで、感度は室温で 105 V/W（入射パワーはアンテナ面積に照射されたテラヘルツ波のみを考慮）、雑音等価電力は  $10^{-10} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$  となり、共鳴型の四つ葉型アンテナを利用することで、性能が向上した。さらに、このアンテナを x 方向 300  $\mu\text{m}$ 、y 方向 200  $\mu\text{m}$  ステップで走査することで、放物面鏡で集光したテラヘルツ波スポットのイメージングを測定したところ、理論値の 4 mm 径のガウス分布と合致した。（図 5、文献 26）

アレイ化することにより、テラヘルツ帯独自の応答を二次元で測定

するイメージング技術となり得るため、バイオ・医療分野への応用が期待される。また、アンテナの構造も種々提案されている状況であり、分野として最適化が進むと予測される。（北澤田鶴子）



四つ葉型アンテナと FET 部の構成