

気になる論文コーナー

脳皮質電気刺激の生体内イメージング：高速内因性光信号対電位感受性色素

Imaging Cortical Electrical Stimulation *In Vivo*: Fast Intrinsic Optical Signal Versus Voltage-Sensitive Dyes
 [V. Tsytsarev, K. Premachandra, D. Takeshita and S. Bahar: Opt. Lett., 33, No. 9 (2008) 1032-1034]

電位感受性色素 (voltage-sensitive dye; VSD) は電位変化を蛍光強度変化に変換する一種のケミカルプローブであり、マイクロ秒以下の高速な応答が得られることから、近年、脳神経細胞興奮時の膜電位の脱分極変化を直接イメージングする外因性光信号計測手法のひとつとして注目されている。一方で、神経活動変化時の組織代謝変化 (血流量変化、ヘモグロビンの酸化-還元変化) に起因する反射光強度変化をとらえる内因性光信号イメージング法も広く研究されている。従来からの内因性光信号を用いた皮質表面のイメージングでは、神経刺激に対して比較的遅く緩やかな時間応答成分が解析の対象とされる場合が多い。著者は、内因性光信号の早い時間応答成分である fIOS (fast intrinsic optical signal) に着目し、fIOS と VSD 蛍光の双方による高時間分解イメージングを、電気刺激時に対するラット大脳皮質体性感覚野の時・空間特性の観察に応用している。

VSD による蛍光イメージングでは、電位感受性色素 (RH-795 または RH-1691) により染色したラット露出脳にタングステンフィラメントランプからの光をヒートミラーと干渉フィルター (546±30 nm または 630±20 nm) を介して照射することで励起される蛍光強度変化を、ま

た、fIOS イメージングでは、波長 694 nm の光を照明した際の反射光強度変化を計測している。電気刺激強度は 100 μA であり、双極電極によりパルス幅 0.2 ms のトレイン刺激を 300 Hz で計 10 ms 与えている。蛍光強度変化および反射光強度変化の画像はいずれもフレームレート 100 Hz で取得され、ノイズの影響を軽減するために 30 回の加算平均処理がなされている。

皮質表層の fIOS は VSD 信号と同様に電気刺激後 30 ms 以内で観測され、従来からよく知られている内因性光信号の遅い応答に先だって現れることを確認している。さらに、fIOS が刺激電極近傍のみで観測されるのに対して、VSD 信号は fIOS よりも広範囲に広がる結果が得られている。観測された fIOS の起源として、膜電位の脱分極に伴う膜透過性イオンの移動により生じる神経細胞組織の体積変化と光散乱特性変化が議論されている。(図 2, 文献 11)

本論文では、内因性光信号においても VSD 蛍光と同程度の早い時間応答が得られている点や、fIOS と VSD 蛍光の空間的応答特性が異なる点が興味深い。今後は、照明光の波長と fIOS の時・空間応答特性との関係に関する検討が行われることを期待したい。(西館 泉)

可視光領域におけるロールアップメタマテリアル

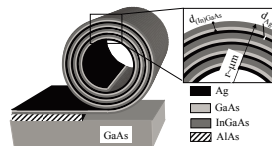
Rolled-Up Three-Dimensional Metamaterials with a Tunable Plasma Frequency in the Visible Regime

[S. Schwaiger, M. Bröll, A. Krohn, A. Stemmann, C. Heyn, Y. Stark, D. Stöckler, D. Heitmann and S. Mendach: Phys. Rev. Lett., 102, No. 16 (2009) 163903]

メタマテリアルは、透明マントなどのさまざまな応用が可能のため、活発に研究されているが、波長以下の構造を作製する必要があるため、実現が難しい。著者は、自己組織化の手法を用いたメタマテリアルの新規作製方法を開発した。その作製方法は、通常のプレーナーな作製プロセスで、まず GaAs 基板に AlAs 犠牲層を成膜し、その上に InGaAs/GaAs/Ag 層を積層する。その後、犠牲層の端部を選択エッチングすることで、InGaAs 層が基板からリリースされ、InGaAs 層の歪み緩和により、図のように複数回巻きの外側半径が数 μm 程度のマイクロチューブができあがる。この構造は、半径方向と周方向に対する異方性媒質となり、回折限界を超えたレンズ、いわゆるハイパーレンズ (HL) として機能する。さらに著者は、InGaAs/GaAs 層厚を 34 nm で固定し、Ag 層厚を 17, 19, 22 nm と変えることで、4 回から 6 回巻きになることと、HL として機能する波長を可視から近赤外まで変化させられることを、透過率測定により確かめた。透過率測定

は、マイクロチューブ内に、先端に微小孔を開けたファイバーを挿入し、その微小孔からチューブ外に放射される透過光強度を測定することで、その結果は計算値とも一致を示した。さらに、このマイクロチューブでの HL の数値計算を行い、250 nm 間隔の波長 685 nm の点光源からの光が 305 nm 間隔へと、約 1.2 倍拡大できることを計算で確かめた。(図 5, 文献 26)

今後は、ハイパーレンズの実証実験、および半導体材料を活用したアクティブな素子への展開も期待される。(水谷 彰夫)



作製したロールアップメタマテリアルの模式図

InGaN p-i-n ホモ接合太陽電池の作製とその特性

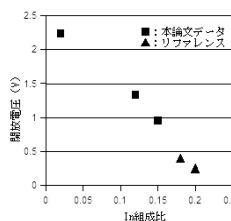
Fabrication and Characterization of InGaN p-i-n Homojunction Solar Cell

[X. Cai, S. Zeng and B. Zhang: Appl. Phys. Lett., 95, No.17 (2009) 173504]

近年、世界的に高効率な太陽電池の開発が盛んに進められており、高効率化の方法のひとつとして、可視光全域で吸収波長を制御可能な窒化物半導体である InGaN が太陽電池材料として期待されている。著者は、GaN/InGaN ヘテロ接合に対して格子不整合の影響低減が期待される In_xGa_{1-x}N ホモ接合による太陽電池の試作と、その特性を報告している。本論文での試作デバイスは In 組成比 x が 0.02, 0.12, 0.15 の 3 種類であり、それぞれの In 組成比に対応した吸収端での良好な波長対応と高い変換効率 (40%, 33%, 30%) を示していることを報告している。しかしながら、In 組成比を大きくしていくことにより試作デバイスの開放電圧が低下する結果も示しており、過去の報告データとあわせて InGaN 太陽電池における大きな課題のひとつであるとしている。低下の理由として、In 組成比の増大に伴う InGaN の結晶品質の低下 (欠陥の増大) により、太陽電池内での電子・正孔の寿命が短

くなることであると結論づけている。(図 5, 表 1, 文献 17)

InGaN ホモ接合太陽電池による幅広い波長に対応する高効率化の可能性は示されているものの、結晶品質の低下が大きな課題である。実際に InGaN ホモ接合の特徴を生かすためには、より高い In 組成比の InGaN による対応波長領域の拡大が必須になる。In 組成比によらずに高品質な結晶を成長させる技術の確立と特性確認が進むことを期待したい。(栗本 英治)



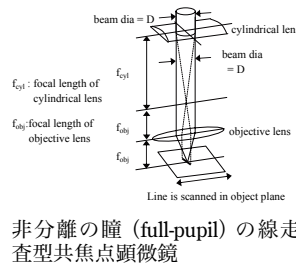
In 組成比とデバイスの開放電圧の関係

ヒト皮膚の線走査型反射光共焦点顕微鏡法について：照明 / 検出光路非分離構成と分離構成との比較

Line-Scanning Reflectance Confocal Microscopy of Human Skin: Comparison of Full-Pupil and Divided-Pupil Configurations [D. S. Gareau, S. Abeytunge and M. Rajadhyaksha: Opt. Lett., 34, No. 20 (2009) 3235-3237]

共焦点顕微鏡はヒト皮膚の細胞や細胞核のイメージングによく使われており、1点からの反射光を検出する点走査方式が主流となっている。著者らは、今後は小型・低コストが期待できる線走査方式が主流になると考え、開発を行ってきた。本論文では、以前に開発した照明と検出の光路を分離する瞳を使った共焦点顕微鏡法（以下、分離型）と、今回開発した分離なしの単純な構成の瞳を使った顕微鏡法（以下、非分離型）との比較を行った。強散乱のヒト皮膚での光学切片厚さのFWHMを比較すると、分離型では $9.2 \pm 1.7 \mu\text{m}$ 、非分離型では $2.8 \pm 0.8 \mu\text{m}$ であった。また、ヒト皮膚の *in vivo* 画像を比較したところ、非分離型が分離型に比べて低コントラストでノイズが多くみられた。これは、分離型では照明の光路と検出の光路とが角度的に分離されているため、バックグラウンド光がよりよく除去できたからである。以上より、分離型と非分離型の選択は、表に示すようにトレードオフであることがわかった。（図3、表1、文献8）

間に画像が取得できる線走査の共焦点顕微鏡の開発によって、被験者の負担を減らし、無意識の呼吸やぶれなどの短時間の径時変化を除去した、より精度の高い *in vivo* 画像の取得に貢献できると期待される。（佐野恵美子）



分離型と非分離型の比較

	分離型	非分離型
光学切片厚さ (深さ方向分解能)	△	○
測部分解能 (水平方向分解能)	○	○
コントラスト	○	△
構成の単純さ	△	○

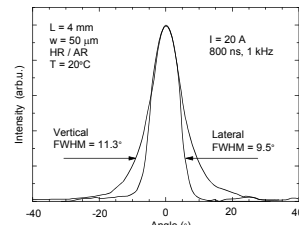
X-Y 方向の移動が必要な点走査ではなく、1方向のみの移動で短時

高輝度狭ビーム 850 nm 帯 GaAs/AlGaAs フォトニックバンド結晶レーザーと単一モードアレイ

High-Brightness and Ultranarrow-Beam 850-nm GaAs/AlGaAs Photonic Band Crystal Lasers and Single-Mode Arrays [T. Kettler, K. Posilovic, L. Y. Karachinsky, P. Ressel, A. Ginolas, J. Fricke, U. W. Phol, V. A. Shchukin, N. N. Ledentsov, D. Bimberg, J. Jönsson, M. Weyers, G. Erbert and G. Tränkle: IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 15, No. 3 (2009) 901-908]

近赤外高出力半導体レーザーは固体レーザーのポンプ光源などに利用されているが、特に材料加工への応用のために、高出力なうえ高輝度なレーザーの実現が求められている。そのためにはレーザー出射光の垂直方向発散角を低減させる必要があるが、薄いコア層や導波モード拡大層を用いる方法では、レーザー動作の安定性に問題があった。本論文では、活性層下部に垂直方向一次元フォトニック結晶を導入することで基本導波モードを垂直方向に拡大し、垂直方向ビーム発散角を大幅に低減した 850 nm 帯高輝度レーザーの実現に成功した。チャンネル幅 $50 \mu\text{m}$ のブロードエリアレーザーをパルス駆動し、最大出力 20 W、外部微分量子効率 71%、ビーム発散角 $9.5^\circ (\parallel) \times 11.3^\circ (\perp)$ 、輝度 $3 \times 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ の高輝度出力が得られた。さらにチャンネル幅 $2 \mu\text{m}$ 、中心間隔 $25 \mu\text{m}$ で 64, 128, 256 チャンネルのレーザーアレイを作製し、すべてのレーザーが閾値電流 70 mA で一様に安定パルス動作することを確認した。（図 10、文献 22）

本論文では活性層下部に垂直方向一次元フォトニック結晶を導入することにより、850 nm 帯高出力高輝度半導体レーザーの実現に成功した。今後、材料加工などへ応用分野の拡大が期待できる。（上向井正裕）



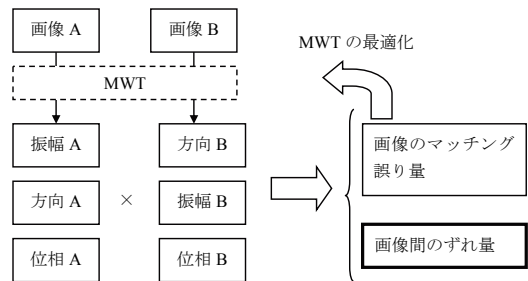
フォトニックバンド結晶レーザー出射光の強度分布

二次元モンジュニックウェーブレット変換を用いたロバストなステレオマッチング

Robust Stereo Image Matching Using a Two-Dimensional Monogenic Wavelet Transform [J. Li, H. Zhao and C. Shi: Opt. Lett., 34, No. 22 (2009) 3514-3516]

おもにマシンビジョン等の分野において、ステレオ視の精度は重要な課題である。しかし、従来手法では画像の一部分同士の一致度を比較しているため、画像間のシフト・倍率・方向の違いや雑音の影響を受けやすかった。ウェーブレット変換を使うことで影響を軽減できるが、特に倍率や回転について完璧なものではなかった。著者らは、モンジュニックウェーブレット変換 (MWT: monogenic wavelet transform) を用いることで、この問題を解決している。この MWT を使うと、画像を振幅・位相・方向の 3 つの成分に分割できる。MWT 自体は位相シフトに対して共変だが、振幅は位相シフトに対して不変という特徴をもつため、画像間のずれ量を位相・方向それぞれ独立に比較することができる。そのため、最適な MWT ウェーブレットを求めるための最適化処理を行った。その結果、2枚のステレオ画像から測距をしたところ、5秒という短時間で従来手法より精度よく測ることができた。（図3、表1、文献12）

像のつなぎ合わせ等の応用も考えられる。今後の動向に注目したい。（山下 敏行）



システム概略図

本手法はステレオ視だけでなく、高速かつ高精度であることから画