

シリコン中のコヒーレントフォノン励起によるテラヘルツ周波数コム

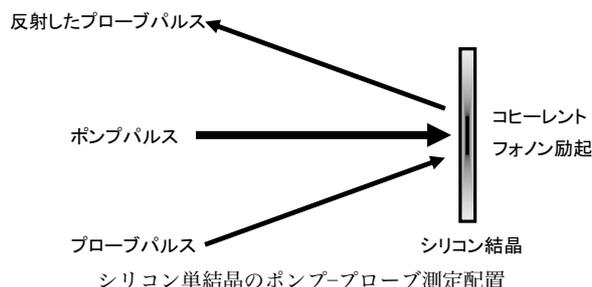
Frequency Comb Generation at Terahertz Frequencies by Coherent Phonon Excitation in Silicon
[M. Hase, M. Katsuragawa, A. M. Constantinescu and H. Petek: Nat. Photonics, 6, No. 4 (2012) 243-247]

周波数コムとは、周波数領域において多数のモードが一定間隔で櫛のように並んだ離散的スペクトルをいう。この論文で著者らは、パルス幅 10 fs の光パルスとシリコン単結晶表面を用いて時間分解ポンプ・プローブ測定を行った。波長 397 nm のポンプ光により Γ -L 点における直接遷移が誘起され、高密度の電子-正孔プラズマが生成される。さらにラマン散乱過程によって周波数 15.6 THz の大振幅コヒーレント光学フォノンが発生した。フォノン周波数でのシリコンの屈折率・吸収率変調を介して、シリコン表面から反射されるプローブ光電場の振幅・位相が変調され、周波数間隔が 15.6 THz で帯域が 100 THz 以上の周波数コムの生成に成功した。(図 3, 文献 30)

コヒーレント光学フォノンを利用した周波数コムとしては初めての報告である。また、ダイヤモンド結晶とより短いパルスを用いることで、さらに高い周波数間隔 (約 40 THz) と広帯域な周波数コムの実

現が可能と期待される。

(佐藤 琢哉)



単一シリコン基板上に形成された高密度光インターコネクション

First Demonstration of High Density Optical Interconnects Integrated with Lasers, Optical Modulators, and Photodetectors on Single Silicon Substrate

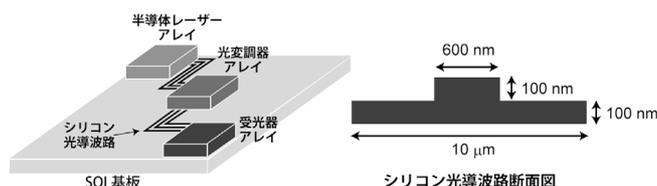
[Y. Urino, T. Shimizu, M. Okano, N. Hatori, M. Ishizaka, T. Yamamoto, T. Baba, T. Akagawa, S. Akiyama, T. Usuki, D. Okamoto, M. Miura, M. Noguchi, J. Fujikata, D. Shimura, H. Okayama, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, K. Yamada and S. Itabashi: Opt. Exp., 19, No. 26 (2011) B159-B165]

シリコン・オン・インシュレーター (SOI) 技術を利用したシリコン光導波路は、低消費電力・低コスト・小型化などから将来のフォトニック・ネットワークを担う光デバイスとして期待されている。しかしながら、非常に小さな断面をもつシリコン光導波路への光の結合の際の大きな損失、およびアライメント精度のシビアさが問題となっており、半導体レーザーや受光器等の異種材料を単一シリコン基板上へ集積することは非常に困難なものとされていた。本論文はその問題を克服し、単一シリコン基板上に光トランシーバーを実装した世界で初めての論文である。本論文では、13 チャンネルの半導体レーザーダイオード、シリコン光変調器、ゲルマニウム受光器、シリコン光導波路を単一シリコン基板上に集積した光電子融合システムのチップ間光インターコネクト機能を実証した。全チャンネルでの光強度のゆらぎはわずか 0.7 dB 程度であり、1 チャンネルあたり 5 Gb/s の伝送速度と 3.5 Tbps/cm² の伝送密度を達成した。(図 9, 文献 13)

シリコン基板上での光トランシーバーの実現は光電子回路融合への第一歩であり、本論文ではきわめて重要な成果が報告されている。今

後はさらなる多チャンネル化、高速化を視野に入れた光電子融合システムへの実現化に向けた動きが期待される。

(須田 悟史)



単一シリコン上に集積化 (レーザー・変調器・受光器が形成) されたシリコン光導波路配線の高密度光インターコネクションとシリコン光導波路断面図

バイラテラルフィルターに基づく時間的高域通過フィルターによる非一様性の補正法

New Temporal High-Pass Filter Nonuniformity Correction Based on Bilateral Filter

[C. Zuo, Q. Chen, G. Gu and W. Qian: Opt. Rev., 18, No. 2 (2011) 197-202]

赤外線イメージセンサーでは、固定パターンノイズに起因するセンサー感度の非一様性が問題となるため、補正アルゴリズムが適用される。赤外線イメージセンサーの出力信号の輝度変化を利用したシーンベースの補正法として、時間的高域通過フィルターによる補正法が提案されている。ほとんどのケースでは高域通過フィルターを用いた補正法はシンプルで効果的であるが、いくつかの問題点がある。そのひとつとして、入力画像の一部で変化のない部分があると、そこを固定パターンノイズと判断してしまい、ゴーストとよばれるアーティファクトが発生する。また、画面内に極端に明るい部分があると、収束速度が低下し、ゴーストのようなアーティファクトが生じてしまう。このような問題に対して提案手法では、低域通過フィルターを用いて固定パターンノイズの推定を行う。このとき、画像の輝度変化を考慮し、エッジを保持したまま平滑化することが可能なバイラテラルフィルターを用いることで、ノイズとエッジ部分の分離を可能とし、効果

的な非一様性補正を実現している。提案手法ではまず、入力画像とバイラテラルフィルターにより平滑化した画像の差分をとり、この差分の時間平均をとることで非一様性成分を推定する。これを入力画像から減算することで補正が行われる。本論文では実験により、従来手法よりもゴーストを抑えた非一様性補正が可能であることを示している。また、収束速度について数値解析による考察を行っており、従来手法よりも早く収束することを明らかにしている。(図 5, 文献 12)

提案手法では、時間的高域通過フィルターにおける平滑化処理にバイラテラルフィルターを適用することで、従来手法で生じていたアーティファクトを劇的に抑制することができている。画像のノイズ除去に用いられるバイラテラルフィルターを、固定パターンノイズの推定に利用している点が興味深い。非常にシンプルな手法であり、赤外線イメージセンサー以外への応用展開も期待される。

(生源寺 類)

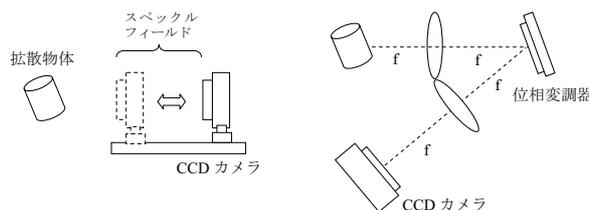
空間光変調器を結像系フーリエ面に配置したスペックルフィールドからの位相回復

Phase Retrieval by Means of a Spatial Light Modulator in the Fourier Domain of an Imaging System
[C. Falldorf, M. Agour, C. v. Kopylow and R. B. Bergmann: Appl. Opt., 49, No. 10 (2010) 1826-1830]

単色光の複素振幅を測る方法としては、デジタルホログラフィーのように干渉を用いる方法が主流であるが、高い時間的コヒーレンスをもつ光源を必要とすることや、系の安定性、光学系の調整など考慮すべき点が多い。そこで、干渉を用いない方法として、伝搬距離を変化させた場合の光強度分布（スペックルフィールド）を取得し、これに数値計算を施すことで伝搬光の複素振幅分布を得る方法が提案されている。この方法は取得する光強度情報が多ければ取束性がよいという特徴がある一方、スペックルフィールドの計測を行うために計測装置を機械的に移動させる必要があり、計測時間がかかってしまうという問題がある。本論文では、計測装置の機械的な移動を必要としないスペックルフィールドの計測方法を提案している。位相変調器を4f光学系のフーリエ面に配置し、適切な変調を行うことで、物体波面に自由伝搬と等価の伝達関数をかけることができる。これにより、複数の伝搬距離における光強度分布を計測装置の移動なしに取得でき、計測時間の大幅な短縮が可能となる。著者らは、実験により従来の干渉による方法と比較を行うことで、有効性を確認している。（図4、文

献 24)

角スペクトル法による波面伝搬計算の伝達関数が位相項のみで表せる点に着目し、これをスペックルフィールド取得に応用した論文である。計測時間を短縮できるため、時間的に変動がある熱負荷測定などへの応用が期待される。（鈴木 裕之）



スペックルフィールド計測系（左：従来法、右：提案法）

圧縮されたホログラムデータからの複数枚画像再生

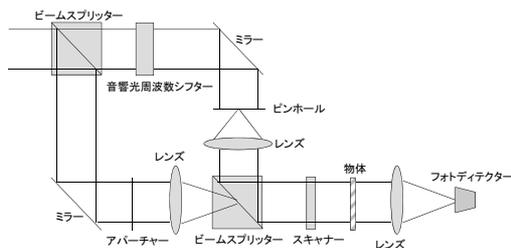
Multiple-Image Encryption by Compressive Holography

[H. Di, K. Zheng, X. Zhang, E. Y. Lam, T. Kim, Y. S. Kim, T. C. Poon and C. Zhou: Appl. Opt., 51, No. 7 (2012) 1001-1009]

デジタルホログラフィーで得られる画像データは、非可逆なデータ圧縮によって画像が劣化した場合でも、誤差がそれほど大きくなければ再生は可能である。本論文では、撮影したデジタルホログラフィーの画像データに対し、画素の間引きと量子化によって画像データを圧縮し、容量の少ないホログラムデータからでも複数枚の物体像を復元可能な手法を提案している。提案手法では、optical scanning holography (OSH) とよばれる手法でホログラムデータを取得し、得られた画像のフーリエ変換像に対し、再生に重要な成分である低周波成分は細かくサンプリングし、高周波成分は粗くサンプリングすることで、データの間引きを行う。再生の際は、圧縮センシングに基づく画像復元（スパース表現された画像信号のL1ノルムを最小化することで元の信号を復元する手法）を適用し、物体像のDaubechiesウェーブレット変換係数を推定することで、圧縮したホログラムデータからでも正しい物体像を復元することが可能になる。実験では、光軸方向に対して異なる位置に配置した2枚の画像を1つのホログラムに記録し、画像データを25%に圧縮したホログラムデータからでも2つの画像を正しく再現できることを示している。また、異なる位置に4枚の画像を配置した場合でも、画像の配置する方法を工夫するこ

とで、4枚それぞれを正しく再生できることを計算機シミュレーションによって示している。（図12、文献28）

本論文では、複数枚の画像を1つのホログラムとして記録することを「暗号化」とよんでいるが、復号化の手順を知っていれば解読は容易であるため、適用できる応用範囲は限定される。何かしらの安全性を向上させる一工夫を加えることで、より適用範囲の広い手法の開発が期待される。（鈴木 裕之）



ホログラム撮影実験システム（OSH）の構成図

カオス光集積回路に基づく140 Gb/sの真性乱数生成器の実装

Implementation of 140 Gb/s True Random bit Generator Based on a Chaotic Photonic Integrated Circuit

[A. Argyris, S. Deligiannidis, E. Pikasis, A. Bogris and D. Syvridis: Opt. Exp., 18, No. 18 (2010) 18763-18768]

近年、レーザーにおけるカオス現象を用いた物理乱数生成器の研究がさかに行われている。本研究では、広帯域なカオスの光出力振動を生成する光集積回路を用いた小型の物理乱数生成器の実証実験を行った。光集積回路は分布帰還型（DFB）レーザーと1 cmの外部共振器から構成される。レーザーからの光出力は導波路を通り、高反射コートされた端面により反射されて再びDFBレーザーに戻すことで広帯域なカオスが生成される。短い外部共振器長を用いて外部共振器モードの出現を抑えることにより、平坦な無線周波数（RF）スペクトルを実現している。カオスの光出力を光検出器にて電気信号に変換し、10 GS/sのオシロスコープにて16ビット列に変換し、下位14ビットを二値乱数列として出力した。生成された乱数は国際標準の乱数統計検定方式に全項目合格し、ランダム性の高い乱数であることが

示された。また出力する下位ビット数を変化させた場合、最大で下位14ビットでの乱数生成を実現した。本方式は乱数生成のための相関除去等の複雑な後処理を用いる必要がなく、140 Gb/sでの真性乱数の生成に成功した。また注入電流を変化させた場合、下位ビット数を減少させることでより広いパラメータ領域で乱数生成が可能となった。さらにマルチビットの統計分布を調査したところ、下位ビット数の減少に伴い様な統計分布が得られることが明らかとなった。本方式では安定して乱数生成を実現しており、小型で堅牢な乱数生成器として有用であると期待される。（図5、文献21）

本方式は光集積回路を用いて物理乱数生成器の小型化の可能性を示唆している点で非常にすぐれており、実用化へ向けた技術として今後の進展が期待される。（内田 淳史）