

### 干渉露光組立法による望みの三次元構造の作製

Fabrication of Desired Three-Dimensional Structures by Holographic Assembly Technique

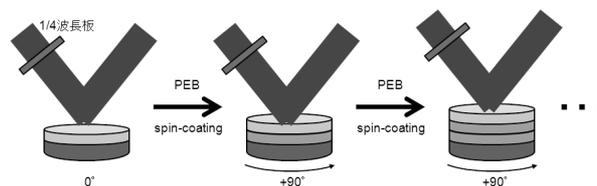
[N. D. Lai, T. S. Zheng, D. B. Do, J. H. Lin and C. C. Hsu: Appl. Phys. A, 100, No. 1 (2010) 171-175]

全方向の光に対して負の屈折率や光閉じ込めを実現するには、三次元構造が必要であるが、作製が困難である。著者らは、干渉露光組立法を用いることで、大面積に三次元周期構造を作製した。作製方法は、まず基板にレジストを塗布し、二光束干渉露光法で一次元周期の干渉縞を露光した後、露光後ベーク (PEB) まで行う。次に、その上にレジストを塗布し、基板を 90 度回転させて、再び干渉縞を露光、PEB する。これを繰り返すことで積層し、最後に現像を行えば、途中でレジストが崩れることなく作製できる。著者らは、上記のプロセスで、露光波長 325 nm のレーザーにより、1  $\mu\text{m}$  厚さの SU-8 レジストを 8 層積層し、周期 1.5  $\mu\text{m}$  のウッドパイル型三次元フォトニック結晶の作製に成功した。ウッドパイル型では、1 層おきにパターンを位置を半周期分ずらす必要があるため、2 光束のうち 1 光束に四分の一の波長板を導入し回転させることで半周期分ずらしている。また、基板を 90 度回した 2 度の干渉露光で円孔正方配列構造を作製し、同様の手法で円孔

位置を対角線方向に半周期ずらして積層することで、体心立方格子構造を作製している。(図 4, 文献 24)

四分の一の波長板をうまく使うことで、位置合わせしているのが興味深い。今後は、より短周期な構造への展開やレジストをテンプレートとした高屈折率媒質や金属媒質への置換手法の開発が期待される。

(水谷 彰夫)



三次元構造作製プロセスの模式図

### チューナブル連続テラヘルツ波発生用モノリシックデュアルモード分布帰還型半導体レーザー

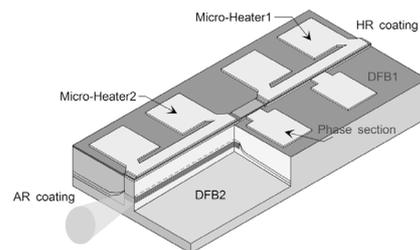
Monolithic Dual-Mode Distributed Feedback Semiconductor Laser for Tunable Continuous-Wave Terahertz Generation

[N. Kim, J. Shin, E. Sim, C. W. Lee, D.-S. Yee, M. Y. Jeon, Y. Jang and K. H. Park: Opt. Express, 17, No. 16 (2009) 13851-13859]

二波長半導体レーザーからの出力光をフォトミキサーで混合すれば、ビート周波数に対応する連続テラヘルツ (THz) 波を発生できる。これまで多くの波長可変分布帰還型 (DFB)/分布ブラッグ反射型 (DBR) レーザーが実現されており、波長可変集積二波長レーザーとフォトミキサーの組み合わせは、ポータブルで周波数可変範囲の広いテラヘルツ波発生源の有力候補にあげられている。本論文では、2 つの DFB レーザー部と位相制御部からなる 1.55  $\mu\text{m}$  帯デュアルモード半導体レーザーおよび InGaAs フォトミキサーを用いたチューナブル連続テラヘルツ波発生について報告されている。各 DFB 上に設けたマイクロヒーターに電流を 23 mA 流すことで、3.4 nm の発振波長チューニングを達成した。各ヒーターへの注入電流を調整することにより、0.81~4.7 nm の範囲で波長差を連続的にチューニングすることに成功した。またこのレーザーの出力光をファイバー増幅器で 10 mW まで増幅して InGaAs フォトミキサーの電極ギャップ (印加電圧 2 V) に照射し、発生したテラヘルツ波のパワーを低温ボロメーターで測定したところ、0.17~0.49 THz の範囲にわたって 1 nW オーダーの

連続テラヘルツ波の発生を確認できた。(図 7, 文献 27)

本論文では波長可変集積デュアルモード DFB レーザーとフォトミキサーを用い、連続テラヘルツ波の周波数チューニングに成功した。今後レーザー出力の向上により、増幅器を必要としないコンパクトなチューナブルテラヘルツ波発生源の実現が期待される。(上向井正裕)



波長可変モノリシックデュアルモード DFB レーザーの概略図

### 共形な導波モード共鳴フィルターの光学性能

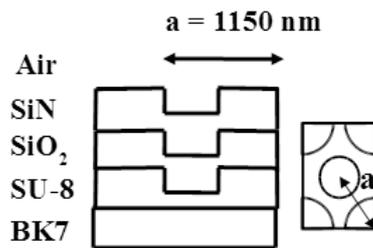
Performance of Conformal Guided Mode Resonance Filters

[A. T. Cannistra, M. K. Poutous, E. G. Johnson and T. J. Suleski: Opt. Lett., 36, No. 7 (2011) 1155-1157]

格子周期が波長よりも短いサブ波長格子のひとつに、導波モード共鳴フィルターが知られている。これは誘電体格子と平面基板との導波層から構成されており、狭帯域かつ高効率の反射スペクトルを得ることができる。このような共鳴フィルターは、半導体製造技術に代表されるリソグラフィ技術によって製作されるが、想定する光学基板は平面上であり、曲面上への製作は容易ではない。一方、ソフトリソグラフィは曲面上へ格子構造を製作できるが、多くの文献は構造の転写性のみを示し、光学評価に着目した報告は少ない。著者らは、曲面上への共鳴フィルターの作製を行い、光学特性の評価を行っている。共鳴フィルターはピーク波長 1550 nm、格子周期 1150 nm、デューティー比 0.43 の六方配列構造とし、BK7 基板上に SU-8、SiO<sub>2</sub>、SiN が積層されている。ソフトリソグラフィでの製作において、格子構造が形成された軟化性樹脂を基板に貼り付けるフレックス加工法を適用することにより、曲率半径 32.4 mm の凹面レンズ上に共鳴フィルターを配置した。製作された曲面共鳴フィルターの光学評価により、ピーク波長がシミュレーションに近い傾向を示していることなどが述べら

れている。(図 5, 文献 14)

レンズや反射面などの曲面上への格子構造の形成では、収差補正や反射防止などの改善が期待されており、その製作技術開発が広く行われている。大量生産性に依然として課題が残されているが、産業界のさらなる技術開発の進展を期待したい。(岡野 正登)



導波モード共鳴フィルターの格子構造

### 昼光導入オフィスにおける輝度分布が在室者の好みに与える影響

The Effect of Luminance Distribution Patterns on Occupant Preference in a Daylit Office Environment

[K. V. D. Wymelenberg, M. Inanici and P. Johnson: Leukos, 7, No. 2 (2010) 103-122]

昼光を室内に導入することは、人工照明負荷を下げるという観点から重要なだけでなく、窓からの眺望により居住者の快適性を向上させるためにも重要である。昼光は光量の変動の幅が大きいので、有効に活用するためにはリアルタイムのフィードバックが照明制御において必要となる。これまでフィードバックの方法として照度センサーや輝度計測を用いる方法が提案されていたが、在室者の快適性まで考慮した方法は少ない。そこで本論文は昼光が導入されるオフィスにおいて、視野の輝度分布から快適性と相関の高い特徴領域を抽出することを目的としている。実験は約 16 m<sup>2</sup> の個人オフィス空間で行われ、在室者は窓面にあるブラインドの高さと傾きを調整することで、「最も快適」および「不快と感じ始める」光環境に設定するタスクを行う。また、設定した光環境に対して表に示す主観評価をあわせて行った。視野の輝度分布と主観評価値の対応関係を検討したところ、快適と不快の分離には DGP (daylight glare probability) を算出することが有効であると述べている。また他の主観評価においては、輝度値の偏差やグレア源平均輝度との相関が高いことが示された。(図 11, 表 4, 文献

28)

昼光の有効な利用方法を模索する上で、昼光の入射量と屋内空間の印象との関係を定量化することは非常に重要である。本論文は広範な視野の輝度分布を計測し、輝度分布の特徴量をさまざまな角度から検討している点で有用である。(山口 秀樹)

オフィス光環境の主観評価項目

主観評価項目	
Q1	オフィス内装の見え方に満足している
Q2	鉛直面の明るさが好ましい
Q3	PC 作業に適した光量がある
Q4	紙面での作業に適した光量がある
Q5	PC 画面の文字が読め、映り込みがない
Q6	光が適切に分布している

### ゴーストイメージングを用いた光暗号

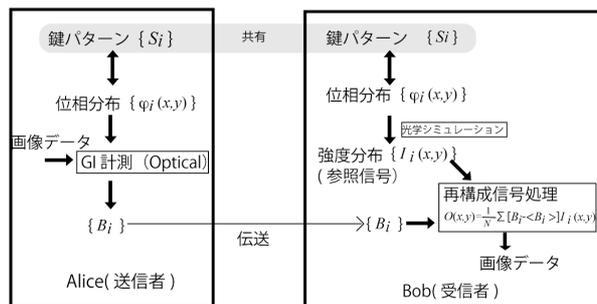
Optical Encryption Based on Computational Ghost Imaging

[P. Clemente, V. Durán, V. Torres-Company, E. Tajahuerce and J. Lancis: Opt. Lett., 35, No. 14 (2010) 2391-2393]

ゴーストイメージング (GI; ghost imaging) はスペックルの二次統計の性質を利用した画像計測法である。近年、参照信号を計算機上で合成する計算機ゴーストイメージング (CGI; computational GI) の提案により、GI の実用性が向上している。著者らは、CGI を用いた画像暗号法を提案している。光暗号は高速操作性、データ秘匿のための多次元性を特徴とする。提案手法の概念図を示す。送信者と受信者は鍵に相当する参照信号の二次元位相分布を共有する。送信者は光学系により得られる GI のデータセットを受信者に送付する。受信者は、受け取ったデータセットと、参照信号の位相分布を用いて復号を行い、原画像を得る。論文では、信号対雑音比と平均二乗誤差を評価することにより提案手法の有用性が示されている。また、計測結果の特性から、効率的な画像再構成についても考察されている。(図 4, 文献 15)

通信暗号として実用化することを考えると、引き続き情報量や堅牢性の評価が必須である。一方、GI の観点からは、有望な応用分野を提示しており、今後の発展が期待される。GI は、その計測特性を生かす

ことでさらに応用分野が広がると考えられ、注目すべき光技術のひとつではないかと考えている。(仁田 功一)



GI に基づく光暗号化法の概念図

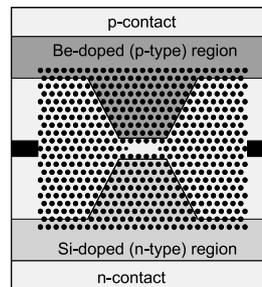
### 電流注入型量子ドットフォトリック結晶ナノ共振器レーザーにおける超低閾値発振

Ultralow-Threshold Electrically Pumped Quantum-Dot Photonic-Crystal Nanocavity Laser

[B. Ellis, M. A. Mayer, G. Shambat, T. Sarmiento, J. Harris, E. E. Haller and J. Vuckovic: Nat. Photonics, 5 (2011) 297-300]

光インターコネクタの実用化のためには、その光源であるレーザー光源の発振閾値をできるだけ小さくし、駆動電力の極小化が必要である。しかしながら、これまで最もすぐれたレーザー光源でも閾値電流が 100 μA オーダーと不十分であり、またフォトリック結晶等の新技術を用いたレーザーでは光励起型でしか検証できていないという課題があった。著者らは、半導体積層構造の層面内方向に p-i-n 接合構造を形成したフォトリック結晶ナノ共振器レーザーを作製し、閾値がナノアンペアオーダーの動作を電流駆動により確認した。サンプルは、基板の上に InAs 量子ドット活性層を形成したものに、イオン注入により p 電極と n 電極をパターンニングしたものを用いた。3 つ穴のナノ共振器を有するフォトリック結晶は、リソグラフィにより正確に p/n 電極に位置合わせされる。150 K での動作において閾値電流は 284 μA であり、消費電力は 296 nW と非常に小さいものが実現できた (図 4, 文献 25)。

は世界初である。現在まだ低温でしか動作が確認されていないが、光インターコネクタの実現に向けて、今後の高温・低閾値動作への取り組みに期待したい。(山中 一彦)



電流注入型量子ドットフォトリック結晶ナノ共振器レーザー構造