

気になる論文コーナー

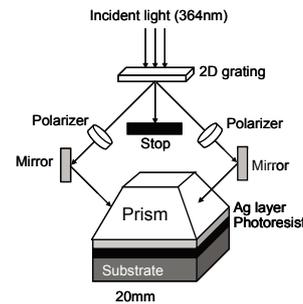
一次元、二次元ナノ構造作製のための大面積マスクなし表面プラズモン共鳴リソグラフィー

Large-Area Maskless Surface Plasmon Interference for One- and Two-Dimensional Periodic Nanoscale Feature Patterning
[K. V. Sreekanth and V. M. Murukeshan: J. Opt. Soc. Am. A, 27, No. 1 (2010) 95-99]

表面プラズモン共鳴による周期的な電場分布を利用したリソグラフィーは、露光波長の半分以下の周期構造、いわゆる回折限界を超えた構造が実現できるため、ナノパターンニング方法として注目されている。しかし、従来の表面プラズモン共鳴リソグラフィーは、マスクとなる金属微細開口構造を必要としたため、大面積への露光は困難であった。本論文の著者らは、マスクなしで大面積に、安価な紫外線レーザーを用いて一次元または二次元ナノ周期構造を作製する光学系を提案、開発し、露光実験を行った。提案する露光光学系は、図のように、光波を4つに分割させる（図では2つのみ示している）ための二次元回折格子と、偏光子、鏡、50 nm厚さの銀をコートしたプリズムとフォトレジストをコートした石英基板（両者はインデックスマッチング液で接合されている）から成る。ここで45度直線偏光を二次元回折格子に垂直入射すると、4つの一次回折波はそれぞれ偏光が変化するが、偏光子を通すことで、同じ強度のP偏光でプリズムへ入射する。その結果、対向する光同士が、銀とフォトレジスト界面で対向する表面プラズモンを励起し、それぞれが干渉することで、二次元周期構造の電場分布が生じ、一括露光を可能にしている。また、2つの光波のみで露光・現像すれば、一次元構造が得られる。露光波長 364 nm

の紫外線レーザーにより、約 90 nm 幅のラインまたはピラーを実現している。（図7、文献19）

プリズムに金属膜をコートした単純な構造で、ナノ構造が得られるのが興味深く、二次元構造も一括露光で作製できるので有用であると思われる。（水谷 彰夫）



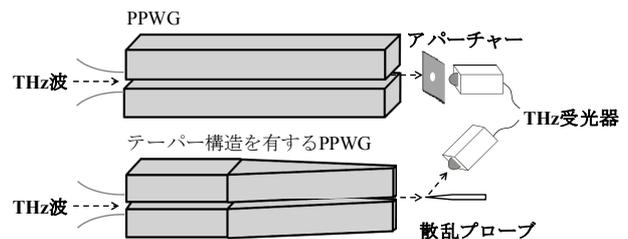
表面プラズモン共鳴干渉露光光学系の模式図

プラズモニック平行平板型導波路を用いたテラヘルツ波の波長以下の領域への集光

Superfocusing Terahertz Waves below $\lambda/250$ Using Plasmonic Parallel-Plate Waveguides
[H. Zhan, R. Mendis and D. M. Mittleman: Opt. Express, 18, No. 9 (2010) 9643-9650]

テラヘルツ (THz) 波を用いて高精細なイメージングや局所的なセンシングを行うため、導波路を用いた超解像技術が近年注目を集めている。従来、平行平板型導波路 (PPWG: parallel-plate waveguide) は、平行平板に垂直な方向については電磁波を閉じ込め可能であるが、平行な方向については放射損が大きいことが知られている。本論文では、PPWG をテーパー構造にすることで、二次元方向のテラヘルツ波の閉じ込めに成功した。散乱プローブを用いて PPWG の出射端における電場分布を実測したところ、中心周波数 0.115 THz (波長にして 2.6 mm) のテラヘルツ波が $10 \mu\text{m} \times 18 \mu\text{m}$ の領域に閉じ込められていることがわかった。著者らは PPWG 出射端のエッジ部の電場が増強されていることから、光の周波数領域で観測されるエッジプラズモンモード (edge plasmon modes) と同様のモードが励起されており、さらに平行平板の間隔を変化させると出射端での電場分布が大きく変化することから、平行平板間でのモードの結合が二次元方向の光の閉じ込めに大きく寄与していると考えている。（図5、文献30）

本論文によるテーパー構造を有する PPWG は遮断周波数の影響を受けないため、広帯域のパルス電磁波で分光イメージングを行うテラヘルツ時間領域分光法との相性がよいように思われる。より詳細な原理の解明と応用技術の発展に期待したい。（田中 優紀）



PPWG およびテーパー構造を有する PPWG の概略図

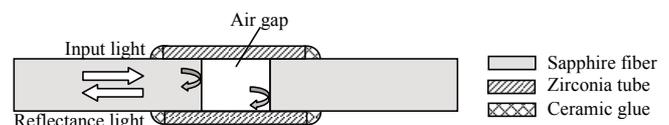
サファイアファイバーのエアギャップによるファブリー・ペロー干渉を使った多点高温センシング

Multiplexed High Temperature Sensing with Sapphire Fiber Air Gap-Based Extrinsic Fabry-Perot Interferometers
[J. Wang, B. Dong, E. Lally, J. Gong, M. Han and A. Wang: Opt. Lett., 35, No. 5 (2010) 619-621]

高温領域での温度センシングは古くから行われている。今回、著者らはサファイアファイバーのエアギャップによるファブリー・ペロー干渉を用いることで、高精度な多点計測を実現するセンサーを構築し、性能を確認した。図に示すようにジルコニア筒にファイバーを差し込み、セラミック接着剤で固定する構成が基本である。温度が変化するとこれらが伸縮するため、エアギャップ長が変動し、ファブリー・ペローの干渉縞の変動となって現れる。この干渉信号の変化から温度を算出する。本論文の特徴は、融点の高い (2040°C) サファイアファイバーを使用することで高温領域まで測定可能としたこと、センサー作製時に端面を注意深く研磨してアライメントすることによって干渉縞の精度を向上させたことである。これらのことにより温度検出精度を向上させ、さらに、複数のセンサーからの干渉信号を高速フーリエ変換によって分離することで、多点 (本稿では3点) を実現したこと

にある。試験用炉に3個のセンサーから3点センシングシステムを設置して検証したところ、1000°C までの高温域で 0.3°C の温度検出精度を実現していることが確認された。（図7、文献8）

これらの技術は、エンジンなどの燃焼気体中での温度計測に必須であるため、継続的に研究されている。今後、実用にに向けた研究が期待される。（佐野恵美子）



エアギャップを用いた温度センサーの構成

熱駆動カンチレバー構造を用いたアサーマル 850 nm 帯面発光レーザー

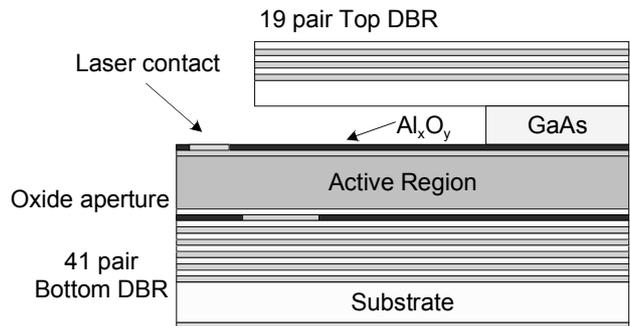
Athermal 850 nm Vertical Cavity Surface Emitting Lasers with Thermally Actuated Cantilever Structure

[H. Sano, A. Matsutani and F. Koyama: Appl. Phys. Express, 2 (2009) 072101]

半導体レーザーの正確な発振波長制御を必要とする波長分割多重光通信の低コスト化には、温度制御機構が不要な波長温度無依存（アサーマル）垂直共振器面発光レーザーが要求されている。しかし、波長温度無依存動作に加えて波長可変機能も有する面発光レーザーは実現されていなかった。本論文では、温度変化による発振波長変動を補償する熱駆動カンチレバー（片持ち梁）を集積した 850 nm 帯面発光レーザーを作製し、その波長温度無依存動作と波長可変特性が報告されている。レーザーはカンチレバー構造上部反射鏡、エアギャップ、GaAs 量子井戸を含む活性層、光・電流閉じ込めのための酸化アパチャーを含む下部反射鏡から構成される。クエン酸を用いた選択エッチングにより、GaAs 犠牲層を除去してカンチレバー構造を形成した。また活性層表面に Al_xO_y 無反射層を設けることで、アサーマル特性を向上させた。レーザーは閾値電流 2 mA で、最大出力 0.8 mW の室温連続発振が得られた。波長温度係数は 0.002 nm/K と通常の面発光レーザーに比べて約 40 倍小さく、さらに注入電流を変えることで 0.8 nm の連続波長チューニングも実現できた。（図 8、文献 15）

本論文では、熱駆動カンチレバー構造を用いたアサーマルかつチューナブルな面発光レーザーを実現した。このレーザーは消費電

力・コスト・素子サイズが小さく、低コストな短距離波長分割多重光通信の光源として期待できる。（上向井正裕）



熱駆動カンチレバー構造を用いたアサーマル面発光レーザーの概略図

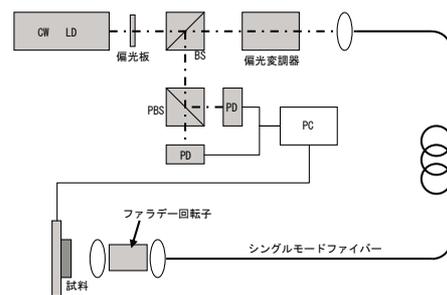
光ファイバーを用いた偏光イメージング

Fiber-Optic Device for Endoscopic Polarization Imaging

[J. Desroches, D. Pagnoux, F. Louradour and A. Barthélemy: Opt. Lett., 34, No. 21 (2009) 3409-3411]

偏光画像の生体計測への応用が盛んに進められている。これまで、偏光画像を取得するには測定物に入射する光の偏光情報が用いられており、光ファイバー等の内部複屈折を有する媒体を偏光測定光学系に導入することは困難であった。著者らは、ファイバーに入射させるビームの偏光状態をランダムに変化させながら試料からの散乱光を解析することにより、ファイバーの内部複屈折に依存せずに、測定箇所での位相遅れを取得する手法を提案している。実験では、ラットの線維状組織を提案手法によって測定し、実際の偏光特性とよく一致する結果を得た。（図 4、文献 10）

著者らの手法では、測定の高速度等の課題があるが、簡易な構成でファイバーの内部複屈折を補正できるため、偏光測定システムの小型化や、生体内での偏光計測につながる可能性がある。著者らの研究動向も含め、今後の展開に注目したい。（生野 恵子）



偏光測定光学系の模式図

粗いエッジを有するグレーティングからの反射光をモデリングするための有効屈折率近似

Effective Medium Approximations for Modeling Optical Reflectance from Gratings with Rough Edges

[B. C. Bergner, T. A. Germer and T. J. Suleski: J. Opt. Soc. Am. A, 27, No. 5 (2010) 1083-1090]

周期構造からの反射光は、その構造に大きく依存する。特に、回折格子の溝方向におけるエッジの粗さ形状は散乱光の計測を不安定にさせる原因のひとつである。しかし、厳密な解析モデルでエッジの粗さ形状を数値解析することは、計算機に大きな負荷を与える。著者らは、有効屈折率近似（EMA）によるエッジの粗さ形状に起因する反射率の計算値の有効性を検討している。解析では格子の基板材料をシリコンとして、波長 633 nm、周期 200 nm、溝深さ 200 nm、山幅 100 nm の矩形格子を想定している。また、エッジの粗さ形状は、ランダムに発生させた位相と粗さの度合いを表現する自己相関関数の逆フーリエ変換を用いて生成している。生成されたエッジの粗さ形状はさらに Maxwell-Garnett の EMA により、仮想的な屈折率を有する薄膜層へ近似を行い、一次元厳密結合波解析（RCWA）で反射率の振る舞いを算出する。最後に、得られた反射率の結果をエッジの粗さ形状を直接反映した二次元 RCWA の結果と比較した。シミュレーションによれ

ば、異方性を有した EMA の最適近似において入射角度 $0 \sim 70^\circ$ 、波長 300~750 nm の広帯域で最大 1% 以下の精度で二次元 RCWA とよく一致することが示された。通常、奥行き方向の形状変化は格子の断面形状のみを表現する一次元 RCWA では反映できない。しかし使用波長よりも小さく、かつ粗さ形状間の相関距離の rms よりも大きいランダム粗さ形状の条件で EMA に適切な近似を施すことにより、一次元 RCWA でも十分満足できる結果を与えることが述べられている。（図 9、文献 30）

近年、リソグラフィ技術で製作された微細構造による光学現象の産業利用が活発に行われているが、その現象解析にかかる数値計算への負荷も大きくなってきている。EMA を用いた微細な粗さ形状の近似は、実際の製作で発生し得る光学性能への影響を短期で予測する有効な手段として期待できる。（岡野 正登）