

気になる論文コーナー

超解像有機レジスト材料への波長 405 nm のレーザー熱リソグラフィ法による 40 nm のパターンニング技術

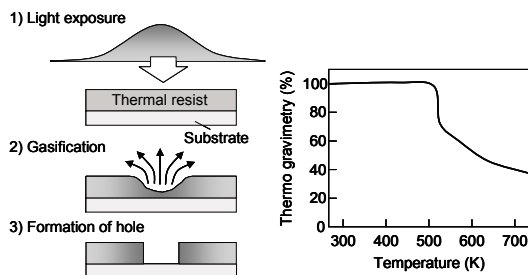
405 nm Laser Thermal Lithography of 40 nm Pattern Using Super Resolution Organic Resist Material

[Y. Usami, T. Watanabe, Y. Kanazawa, K. Taga, H. Kawai and K. Ichikawa: Appl. Phys. Express, 2, No. 12 (2009) 126502]

フォトリソグラフィを用いた微細加工技術は、入射光の高 NA 化と短波長化の制限により微細化に限界が来ている。著者らは代替技術としてレーザー熱リソグラフィ法に注目し、40 nm での微細パターンニングが可能な有機レジスト材料を開発した。レーザー熱リソグラフィ法は、レジスト表面にレーザー光を集光させ、スポットの中心の高温領域を用いてレジストを気化させる。このため、レジストの気化率の温度特性がパターンの解像度を決定する。本論文では、レジストとしてアニオン性抱合体化合物のビオロゲン塩系の材料を提案した。実験では、波長 405 nm の半導体レーザーを光源とする光ピックアップシステムを用いて、レジストの微細パターンを形成した。また、パターンの SiO₂ 転写とドライエッチングを組み合わせ、Si 基板やサファイア基板にサブミクロンの構造を形成した。(図 3, 文献 9)

本技術では既存の光ディスクのシステムを用いて 40 nm の周期微細パターンを実現しており、装置の低コスト化を実現できる。今後は周

期パターン以外の複雑な形状の超微細パターンニング手法の確立を期待したい。(山中 一彦)



レーザー熱リソグラフィ法のプロセス概略図

長距離ファイバーレーザーを用いた安全鍵生成：過渡状態解析と実験

Secure Key Generation Using an Ultra-Long Fiber Laser: Transient Analysis and Experiment

[A. Zadok, J. Scheuer, J. Sendowski and A. Yariv: Opt. Express, 16, No. 21 (2008) 16680-16690]

秘密鍵暗号における最大の弱点は秘密鍵の配送方法であるが、鍵配送方式のひとつとして量子鍵配送方式が近年盛んに研究されている。量子鍵配送では、不確定性原理により理論的には無条件安全性が保障されるが、実装上においては多くの技術的困難を伴う点が大きな課題である。そこで本研究では、通常の光ファイバー部品を用いることでレーザー発振状態の選択に基づく古典的な安全鍵生成方式を提案し、その過渡状態解析と実証実験について報告する。本方式では長距離間で相互結合されたファイバーレーザーを用いて、各々の正当ユーザー(アリスとボブとよぶ)がファイバーブラッググレーティング (FBG) により 2 つの発振周波数 (f_0, f_1 とする) をランダムに選択する。アリスとボブが同一の周波数を選択した場合にはその周波数でレーザー発振するが、異なる周波数を選択した場合には f_0 と f_1 の中間周波数 f_c で発振する。そこで、レーザーの発振周波数が f_c の場合のみ、安全鍵を生成する。特に、アリスが f_0 、ボブが f_1 を選択した場合には鍵ビッ

ト '0' を生成するとし、反対にアリスが f_1 、ボブが f_0 を選択した場合には鍵ビット '1' を生成すると設定する。中間周波数 f_c でレーザー発振している場合、アリスとボブは各々が選択した発振周波数を知っているため、安全鍵の共有が可能となる。一方で、盗聴者(イブ)は f_c のみしか観測できないため、アリスとボブの選択した周波数を推定不能となる。本研究では、過渡状態解析による安全性の脅威を棄却するために、バンドパスフィルターや光学雑音を付加することで安全性の向上に成功している。さらに安全鍵生成実験を行い、25 km のファイバー伝送でビット誤り率 0.006、ビット生成レート 167 b/s を達成している。(図 6, 文献 37)

本方式は既存の光通信用部品で安全鍵配送が実装できる点で非常に優れており、量子鍵配送方式と同等の情報セキュリティ技術として今後の進展が期待される。安全性の多面的な検証が今後の重要な課題である。(内田 淳史)

偏波多重直接検波システムにおける PDL によるコヒーレントクロストークの影響

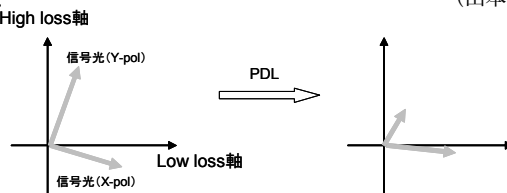
Effect of PDL-Induced Coherent Crosstalk on Polarization-Division-Multiplexed Direct-Detection Systems

[H.-C. Ji, J. H. Lee, H. Kim, P. K. J. Park and Y. C. Chung: Opt. Express, 17, No. 3 (2009) 1169-1177]

次世代光伝送技術として、偏波分割多重 (PDM: polarization division multiplex) 伝送システムに関する研究が活発に行われている。PDM は直交する 2 つの偏波を用いて信号を送信する技術であり、信号帯域の増大を伴わずに伝送速度の向上を実現する。一方、光伝送ネットワークを構成する光スイッチなどは、一般に偏波依存損失 (PDL: polarization dependent loss) をもっており、PDM 信号においては、従来の単一偏波信号では影響のなかった PDL による信号品質の劣化が知られている。本報告では、PDL により発生する偏波間コヒーレントクロストークに注目し、PDM 信号の偏波軸と PDL の偏波軸との角度ずれと、それに伴い発生するクロストーク量の関係について理論的な解析を行っている。クロストークの発生は、PDL に伴う PDM 信号の偏波直交性の破れに起因しており、著者らの理論解析により、PDM 信号の偏波軸と PDL の偏波軸との角度ずれが 45° のとき、発生するクロストーク量が最大となることが示されている。また、トーン重畳した連続光を用いた実験、ならびにシミュレーションにより、上で得られた理論式がさまざまな値の PDL や角度ずれに対して適用可能であることを確認している。さらに著者らは、このクロストークによって生じる信号品質劣化をパワーペナルティの形で定式化し、10Gb/s NRZ (non return to zero) 信号を用いた検証実験によりその適用性を示し

ている。この結果より、角度ずれが 45° である場合、伝送システムの PDL が 1.2 dB 程度であっても、2dB 以上のパワーペナルティが発生することが確認できる。(図 8, 文献 15)

周波数リソースを消費せずに伝送容量の倍増が実現可能な偏波多重信号は、高速大容量な光伝送を実現するうえで非常に重要である。本報告では、そのような偏波多重信号に特有の信号劣化要因である偏波依存損失に対する理論的な解析が行われている点で、興味深い。偏波多重信号の実用化に向け、本報告のような偏波多重信号に特有の信号劣化要因に対する詳細な検証が、今後より一層活発となることが予想される。(山本 秀人)



偏波依存損失 (PDL) による偏波直交性の破れ

異なる格子タイプ、ホール形状、誘電体材料を有する銀 / 誘電体 / 銀プラズモン熱放射素子の放射特性

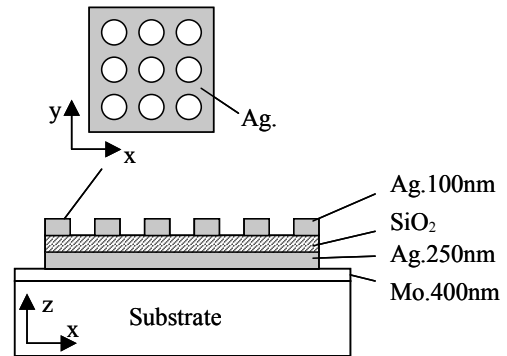
Emission Properties of Ag/Dielectric/Ag Plasmonic Thermal Emitter with Different Lattice Type, Hole Shape, and Dielectric Material [Y. Chang, Y. Wu, J. Lee, H. Chen, C. Hsueh, H. Huang, Y. Jiang, P. Chang and S. Lee: Appl. Phys. Lett, 95, No. 21 (2009) 213102]

波長帯域が制御された熱放射素子は、生物や環境分野で有益な素子として期待されている。著者らはこれまでに、誘電体膜上に微細な周期構造を有する金属膜を設けた熱放射素子を提案している。誘電体膜で発生する熱放射波を金属膜の表面プラズモンと結合させてから、外部に放射することで、波長帯域が狭く、高効率な放射特性が得られることを実験的に確認している。しかしながら、従来の検討では、このような構成によって、どのような波長帯域が増強されるか、十分に解明されていなかった。本論文では、正方格子や三角格子を有する微細構造や、格子点の形状を変えた微細構造を作製し、増強される熱放射波長の観測を行っている。実験結果と解析解との比較により、微細構造の格子（周期間隔）に依存し、誘電体膜と金属膜の界面で発生する表面プラズモンの波長に相当する熱放射波長が増強されることを確認している。（図5、表1、文献11）

増強される波長帯域が、外部と金属膜界面の表面プラズモン波長ではなく、誘電体膜と金属膜界面の表面プラズモン波長で決定されることを、実験的に明らかにした点が新しい。実用に向けた素子開発が期

待される。

（池本 聖雄）



銀 / 誘電体 / 銀プラズモン熱放射素子

任意の粗表面下の物体を検出するためのコントラストの増加

An Enhanced Contrast to Detect Bulk Objects under Arbitrary Rough Surfaces

[L. Arnaud, G. Georges, J. Sorrentini, M. Zerrad, C. Deumié and C. Amra: Opt. Express, 17, No. 7 (2009) 5758-5773]

粗表面下にある物体を波動（電磁波、音波等）を用いて検出する方法は、鉱物の探知や超薄型の生物体の特定など、さまざまな分野で期待されている。著者らは、高度な散乱を示す粗表面からの散乱光を消去する方法について理論解析を行い、実験でその確認を行った。理論解析では、表面のラフネス（1~500 nm）とスロープ（11.7~100%）の条件を変えながら、微分方式、局所反射モデル方式および一次近似電磁理論を用いて、散乱光のエリプソパラメーター $|\psi|$ 、 Δ と散乱角の関係を求めた。散乱が多い表面においては、散乱光の $|\psi|$ はサンプルのマイクロ構造と散乱角に強く依存する。しかし、同じラフネスの表面でスロープが滑らかになると、 $|\psi|$ のマイクロ構造への依存性は少なく、散乱角に対してもその変動が滑らかであった。これらの現象から、著者らは検出側の位相子と検光子の調整量をシミュレーションで決め、粗表面からの散乱光を消去できることを見いだした。実験で

は、ラフネス 7.3 μm 、厚み 3.5 mm、屈折率 1.46 の石英ガラスの裏側に、屈折率マッチングジェルで“十”字を書いて白紙を貼った。マッチングジェルは紙より散乱が少ない。入射角 10° で He-Ne レーザー光を入射したとき、ラフなガラス表面はほとんどの入射光を散乱してしまう。散乱角 15° の角度で CCD カメラを用いて観測を行い、位相子と検光子を調整することで、サンプル表面から散乱光と裏側のマッチングジェルによる散乱光とのコントラストを増加し、見事に“十”字の検出に成功している。（図13、文献26）

ほとんどの物体は、表面がラフネスをもつため散乱を起こす。著者らが述べたように、偏光技術を用いてこれらの表面下に埋められた物体を検出する方法は、バイオフォニクス、生体医学などの分野のセンシングに非常に参考になると期待する。（金 蓮花）

GPU によるデジタルホログラム生成の高速化

Graphics Processing Unit Accelerated Computation of Digital Holograms

[H. Kang, F. Yaraş and L. Onural: Appl. Opt., 48, No.34 (2009) H137-H143]

デジタルホログラムを高速に生成可能な手法として、コヒーレントホログラフィックステレオグラムおよびその改良手法が提案されている。その中でも劣化を抑え、かつ高速な生成が可能な高精度補償位相付加ステレオグラム（ACPAS: accurate compensated phase-added stereogram）が提案されており、その高速性から、実時間ホログラフィックディスプレイへの適用が期待されている。また、このような複雑なアルゴリズムを高速に実行するために、FPGA や GPU が利用されている。特に GPU では、演算の高速性や導入コスト、プログラムの柔軟性など、より多くの利点がある。本論文では、3機の GPU を用いたマルチ GPU プラットフォームにより、ACPAS によるホログラム生成を実現している。ACPAS では、ホログラムを複数のセグメントに分割して処理を行う。最初の処理では、各セグメント上での各物体点からの波面の空間周波数、位相および位相補償量を求める。このとき各物体点の寄与はそれぞれのセグメントに制限されるため、独立した処理が可能であり並列化が容易である。次に、各セグメントに対する逆フーリエ変換を行う。この処理も並列化が可能である。以上の並列

化により、単一の GPU を用いた場合でも、CPU による実装と比較して 100 倍の処理速度が得られている。また、3機の GPU を用いることで、スループットの向上を実現している。さらに本論文では、単精度および倍精度浮動小数点演算との計算精度の比較を行っている。単精度演算では、大きな誤差が生じているものの、ACPAS の近似による誤差と比較して十分小さいため、再生像への影響は無視でき、単精度演算による実装が速度の面からも妥当であるとしている。（図7、表1、文献17）

本論文では、GPU によるデジタルホログラム生成の高速化において、使用するアルゴリズムによっては単精度浮動小数点演算による実装が妥当であることを示している点が興味深い。今後、マルチ GPU プラットフォームによるフレームごとの処理速度のさらなる高速化が期待される。（生源寺 類）