

気になる論文コーナー

任意断面形状格子のための擬フーリエ変換を用いたモード解析

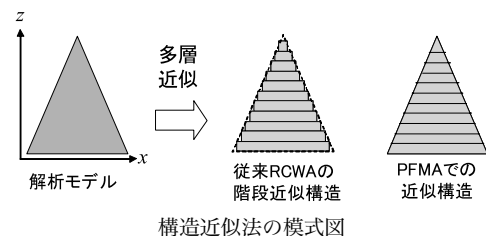
Pseudo-Fourier Modal Analysis of Two-Dimensional Arbitrarily Shaped Grating Structures

[H. Kim and B. Lee: J. Opt. Soc. Am. A, 25, No. 1 (2008) 40-54]

無反射構造、共鳴格子、ワイヤグリッド偏光子のようなサブ波長周期構造の解析には、厳密結合波解析 (RCWA, 別名 FMA, FMM) が精度と計算の高速性からよく用いられている。従来の RCWA では、断面が三角形や正弦波状のような任意形状格子の場合、断面形状を階段近似し、多層の矩形格子として計算されてきた。このとき、滑らかな傾斜断面をもつ金属格子では、断面境界上で、階段近似特有の電場分布誤差が生じることが報告されている。そこで、本論文では、階段近似を用いない擬フーリエモード解析 (PFMA) を提案する。例として、 x 方向に周期的に並んだ三角断面形状 (図左) を考える。従来の RCWA では、断面境界を階段状に多層近似し (図中央)、各層の誘電率分布を x 方向にフーリエ級数展開した形で表現する。一方、PFMA では、断面境界に沿って多層の台形として近似し (図右)、各層の誘電率分布を x 方向と z 方向にフーリエ級数展開した形で表現する。 z 方向には本来周期性がないため、擬フーリエ変換と著者はよんでいる。フーリエ変換以降は、従来の RCWA と同様に、マクスウェル方程式から結合方程式を導き、固有値問題として解くことで、伝搬定数と固有モード形状を求めることができる。三角断面をもつ金属格子に 45 度偏光を垂直入射させた場合、RCWA では、断面境界上にス

パイク状の電場分布が生じた。この電場分布は、層数が 64 層以上の解析において収束することから、層数を増やしても取り除けない階段近似特有の誤差であるといえる。一方、PFMA では、30 層の台形近似において、このようなスパイク状の誤差を取り除くことができた。(図 12, 文献 16)

光波の進行方向へもフーリエ変換することで、階段近似を用いずに三角断面格子の解析を行っているのは興味深い。検証が電場分布の比較のみである。今後は、反射・透過効率の比較計算や、FDTD 法などの他の計算手法との比較を期待したい。(水谷 彰夫)



ナノ構造表面を用いたレンズフリーイメージング

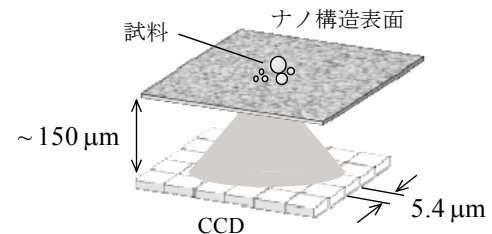
Lensfree On-Chip Imaging Using Nanostructured Surfaces

[B. Khademhosseini, I. Sencan, G. Biener, T. W. Su, A. F. Coskun, D. Tseng and A. Ozcan: Appl. Phys. Lett., 96, No. 17 (2010) 171106]

レンズを用いない顕微鏡が実現できれば、マイクロ流路を用いたチップなどを簡単に観察可能となり、遠隔医療診断システムなど、さまざまな用途への応用が期待される。著者らはナノ構造表面を用いることで、レンズを用いない新しい原理の蛍光顕微鏡システムを提案している。蛍光を発する試料を、ナノ構造表面を有する金属薄膜上に配置し、試料から発せられた光をナノ構造表面によって回折させる。回折光は、0.1~0.2 mm 伝搬し、ナノ構造表面の直下に配置された CCD (charge coupled device) で撮像される。ここで、ナノ構造表面は試料の空間情報を回折パターンにエンコードする役割を果たしており、当該ナノ構造表面はあらかじめ集光スポットを走査しその回折像を撮像することにより校正されている。次に、得られた回折像を、上述の校正データを用いてデコードすることで試料の画像情報が得られるという原理である。著者らは原理確認のため、ナノ構造表面上に約 $2 \mu\text{m}$ の間隔を空けて集光された 2 つの輝点の回折像を、1 ピクセルの大きさが $5.4 \mu\text{m} \times 5.4 \mu\text{m}$ の CCD を用いて撮像し、デコードを行ったところ、2 つの輝点が分離した画像が得られ、CCD のピクセルの解像度よ

り細かい画像情報が撮影可能であることを確認した。(図 4, 文献 12)

本論文による撮像システムはレンズを使用しておらず、安価に顕微鏡システムを構築できる可能性があり興味深い。解像度が改善され、光学シミュレーション等により較正時間が短縮できれば、より実用的になると考える。(田中 優紀)



ナノ構造表面を用いたイメージングシステムの概略図

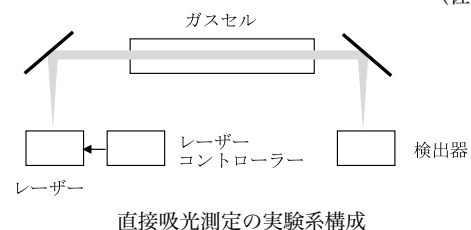
3.03 μm 帯 GaInAsSb/AlGaInAsSb DFB レーザーを使った C_2H_2 の波長可変レーザー分光Tunable-Diode-Laser Spectroscopy of C_2H_2 Using a 3.03 μm GaInAsSb/AlGaInAsSb Distributed-Feedback Laser

[P. Kluczynski, S. Lundqvist, S. Belahsene and Y. Rouillard: Opt. Lett., 34, No. 24 (2009) 3767-3769]

3 μm 程度の中赤外域には多くのガスの吸収帯があるが、該当波長域のレーザーが存在しなかったため、レーザー分光測定が困難であった。しかし近年、3 μm 近傍で発振する GaInAsSb/AlGaInAsSb の DFB (distributed-feedback) レーザーが開発され、著者らはこの DFB レーザーをもとにした注入電流調整による波長可変レーザー (TDL) を開発し、3027.9~3029.1 nm 域でアセチレンの吸光特性を計測した。まず、アセチレンを封入したガスセルに TDL を照射し、InAs/InAsSbP 検出器によって直接吸光測定を行ったところ、得られた吸光スペクトルは HITRAN2008 データベースのスペクトルによく一致した。次に、TDL を使った現場測定の有効性を証明するために、波長変調分光法によって環境気圧 (全圧 998 mbar) で吸光スペクトルを測定した。検出限界として 1.5 ppb (parts per billion) が得られ、大気環境下での

測定の有効性を示した。(図 5, 表 1, 文献 9)

3 μm 近傍には炭化水素類の吸収帯が多く存在し、石油化学工業などの現場測定へ適応が考えられるため、本研究の実用化が期待される。(佐野恵美子)



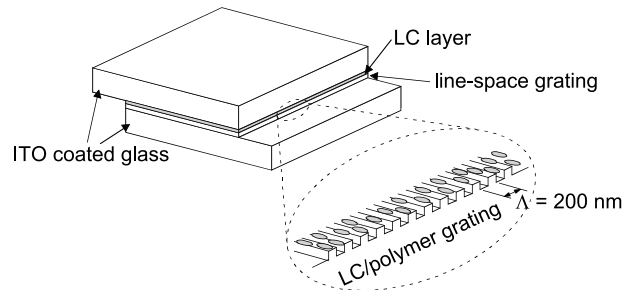
直接吸光測定の実験系構成

ナノインプリント法により作製した分布帰還型共振器を用いた波長可変液晶レーザー

Tunable Liquid Crystal Laser Using Distributed Feedback Cavity Fabricated by Nanoimprint Lithography [R. Ozaki, T. Shinpo, K. Yoshino, M. Ozaki and H. Moritake: Appl. Phys. Express, 1 (2008) 012003]

ナノインプリントリソグラフィーは、低コストに微細構造を大量生産できる加工技術として注目されている。特に液晶分野では、ナノインプリント法で作製した微細パターンで液晶分子の配向を制御する研究が行われている。本論文ではナノインプリント法を用いて液晶/ポリマーグレーティングを作製し、これを光励起することでレーザー発振を得るとともに、電圧印加による発振波長シフトに成功した。まず、酸化インジウムスズ (ITO) コートガラスと石英モールドを厚さ 25 μm のスペーサーを挟んで貼り合わせ、隙間に光硬化樹脂を充填する。この樹脂に紫外線を照射することで、周期 200 nm、深さ 100 nm のグレーティングパターンを形成した。次に、厚さ 6 μm のスペーサーを挟んで別の ITO コートガラスと貼り合わせ、この隙間にレーザー色素を添加したネマティック液晶を充填させた。液晶に添加した色素をストライプ状に光励起することで、波長 698 nm のレーザー発振が得られた。ITO 電極間に電圧を印加して液晶層の分子配向を変化させることで、液晶の屈折率が変化し、グレーティングのブラッグ波長を制御できる。30 V の電圧印加により、短波長側へ 10 nm の発振波長シフトが確認できた。(図 4, 文献 17)

本論文では、ナノインプリント法を用いて低コストで簡便に波長可変液晶レーザーを作製した。グレーティング構造の最適化により、波長可変範囲を拡大できる可能性がある。(上向井正裕)



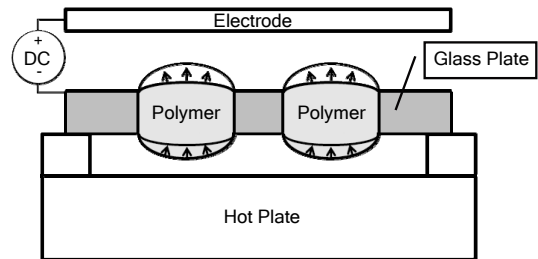
液晶/ポリマーグレーティングの概略図

熱エネルギーと静電気力によるポリマー非球面両凸レンズの作製

Design and Fabrication of a Copolymer Aspheric Bi-Convex Lens Utilizing Thermal Energy and Electrostatic Force in a Dynamic Fluidic [K. Hung, C. Fan, F. Tseng and Y. Chen: Opt. Express, 18, No. 6 (2010) 6014-6023]

近年、エレクトロウエッチング等の、電場と誘電体との相互作用による液体界面の形状変化を用いて、微小なレンズ素子の光学特性を制御する手法が盛んに研究されている。著者らは、上記の手法をプラスチックポリマーレンズの製造に適用している。溶融したプラスチックレンズ材料を配置した電極間に電圧を加え、空気とレンズ材料との誘電率差によるレンズ表面の静電気力の分布によって、レンズの表面形状を制御する。実験では、電極としてアルミコートをしたガラス基板にシクロオレフィン系材料を配置し、本提案手法を用いて表面形状を形成することにより、有効径 1.14 mm の非球面両凸レンズを作製している。また、加える電圧値を最適化することにより、作製されるレンズ表面形状と設計値との誤差を小さくできることを示している。(図 7, 表 1, 文献 12)

い、新しいレンズ製造手段として、今後の動向に注目したい。(生野 恵子)



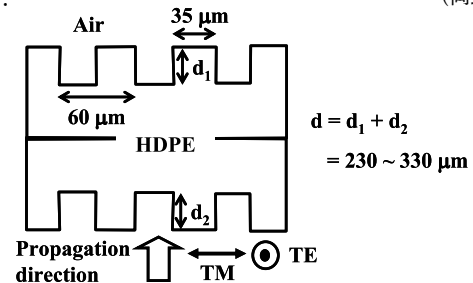
静電気力を用いたレンズ形状作製の概念図

インプリント法で作製された有効屈折率によるテラヘルツ電磁波対応四分の一波長板

Imprinted Terahertz Artificial Dielectric Quarter Wave Plates [S. C. Saha, Y. Ma, J. P. Grant, A. Khalid and D. R. S. Cumming: Opt. Express, 18, No. 12 (2010) 12168-12175]

テラヘルツ電磁波を利用した光学システムは、特に材料分析やセキュリティ分野において活発に開発が行われている。本帯域に対応したサブ波長格子の開発も数多く報告されているが、その格子高さは数百 μm 以上と非常に高い値となる。著者らは、シリコン (Si) 原版から高密度ポリエチレン (HDPE) 基板へのインプリントリソグラフィーを用いて、テラヘルツ電磁波に対応したサブ波長格子による四分の一波長板の製作を行っている。設計周波数 2.2~3.3 THz に対し、格子の断面形状は周期 60 μm、高さ 230~330 μm、山幅 35 μm の矩形格子である。実際の製作では、格子高さ 165 μm、115 μm の 2 種類の回折格子を製作し、各々の裏面を貼り合わせることで、所定のリターデーションを実現する。Si 原版は光リソグラフィーと反応性イオンエッチングを用いて製作し、インプリント装置にて HDPE 基板へ格子構造を転写する。製作された素子を評価したところ、円偏光の指標を示す偏光ファクターは設計周波数に対し、最大 0.10 程度と良好な結果が得られたことが述べられている。(図 6, 文献 18)

テラヘルツ電磁波帯域での光学材料は、屈折率の制約からその選択肢は限られる。サブ波長格子による有効屈折率の利用は、こうした問題を解決する糸口にもなり、さらなる高機能光学システムの実現が期待できる。(岡野 正登)



製作した四分の一波長板の断面形状