

気になる論文コーナー

紫外域の全方位における負の屈折現象を用いたメタマテリアル平面レンズ

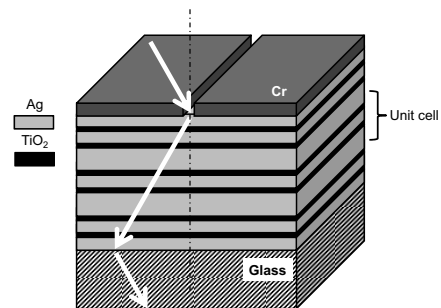
All-Angle Negative Refraction and Active Flat Lensing of Ultraviolet Light

[T. Xu, A. Agrawal, M. Abashin, K. J. Chau and H. J. Lezec: Nature, 497, No. 7450 (2013) 470-474]

メタマテリアルは近年活発に研究されているが、波長以下の金属構造を作製する必要があるため、特に紫外域においては実現が不可能と考えられていた。著者らは、オランダの研究グループが提案した設計理論を用いて紫外光で動作するよう応用した。その構造はAg/TiO₂/Ag/TiO₂/Ag層を1周期とした多層膜をスパッターで積層したものである。各層の膜厚を数十nmと最適化すると、この多層膜はプラズモン導波路スタックとして機能し、後方へ向かう波を発生させ、入射する角度にかかわらず一定の負の屈折率を示す。本構造を用いたメタマテリアル平面レンズとして、上面Cr膜に設けた180nm幅スリットに垂直入射した波長364nmの紫外光を、メタマテリアルの下面から390nmの距離において幅370nmで結像させることに成功した。さらに、リングスリットや十字スリットの結像に成功した。ただし、TM偏光でのみ機能するので、入射光は円偏光とした。(図3、文献30)

以前に本コーナーで紹介した「可視光領域におけるロールアップメタマテリアル」と多層膜であるところが本質的には同じであるが、メ

タマテリアル平面レンズの適用可能性を紫外領域にまで示せたことは興味深い。今後は拡大・縮小機能をもたせ、リソグラフィへの応用が期待される。(水谷 彰夫)



バルクメタマテリアルの模式図

ポリカーボネートへのフェムト秒レーザー照射によるマイクロレンズアレイの作製

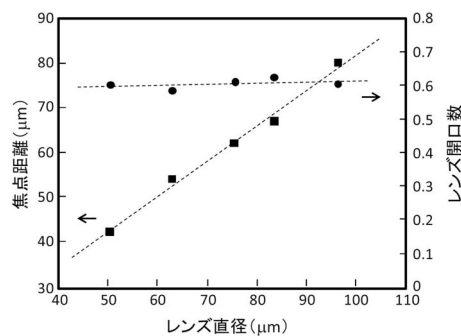
Fabrication of Microlens Arrays in Polycarbonate with Nanojoule Energy Femtosecond Laser Pulses

[T. Meunier, A. B. Villafranca, R. Bhardwaj and A. Weck: Opt. Lett., 37, No. 20 (2012) 4266-4268]

フェムト秒レーザーを透明材料に集光照射し、マイクロ光学素子を集積化する研究が盛んである。本論文では、フェムト秒レーザーパルス(波長790nm, パルス幅25fs, 繰り返し周波数76MHz, パルスエネルギー0.5nJ)をNA0.55の対物レンズを用いて膜厚175 μ mのポリカーボネートフィルム内部に集光照射することで、フィルム表面に滑らかなマイクロレンズが形成されることを見いだした。集光位置がフィルム表面から内部にいくほど、フィルム表面に形成されるマイクロレンズの直径が大きくなった。このマイクロレンズの形成は、入射光の集光位置での熱エネルギーが材料の膨張を促したことに起因しており、フィルム表面は熱により溶融していないため、表面の滑らかなレンズが形成されたと考察されている。また、下図のとおり、マイクロレンズの焦点距離とレンズ直径は比例関係にあるとの実験結果が得られた。入射光の集光位置を制御することで容易にマイクロレンズの焦点距離を制御可能となることが示唆された。(図6、文献11)

これまで、フェムト秒レーザーを用いた加工では、材料への熱的ダメージが抑制される点が注目されていた。本論文のようにフェムト秒

レーザー照射による熱影響を利用した加工方法は興味深く、今後の応用展開に期待したい。(高田 健治)



マイクロレンズ直径と焦点距離、レンズ開口数の関係

電気制御液晶レンズを用いた軸方向分布センシングによる三次元イメージング

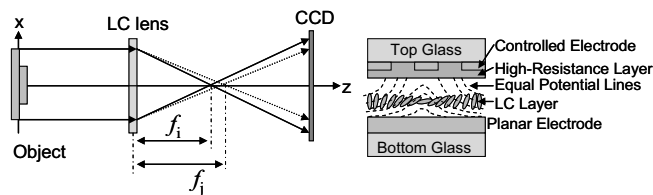
Three-Dimensional Imaging with Axially Distributed Sensing Using Electronically Controlled Liquid Crystal Lens

[C.-W. Chen, M. Cho, Y.-P. Huang and B. Javidi: Opt. Lett., 37, No. 19 (2012) 4125-4157]

対象物の三次元情報を取得する手法として知られる軸方向分布センシングでは、レンズ等を機械的に駆動する機構が必要であり、サイズが大きくなる課題があった。そこで著者らは、液晶レンズを用いた機械駆動部を必要としない軸方向センシングシステムについて検討している。使用した液晶レンズは、高抵抗材料でコーティングされた円形電極と対向する平板電極の間に液晶が充填される構成である。印加電圧5~0Vにおいて、焦点距離が4cm~ ∞ まで変化することを実験的に確認した。次に、三次元情報を取得するため、液晶レンズから13mmと18mmの位置に対象物を設置し、液晶レンズの焦点距離を変更して、倍率の異なる複数枚の画像をカメラで撮影した。撮影した画像から得られた三次元情報をもとに、各焦点位置での画像を再構築し、対象物のぼけ具合をエッジ強調画像により評価した。その結果、13mmと18mmでそれぞれの対象物のエッジがはっきりとしており、機械的なレンズ駆動なしで三次元情報を取得し、各焦点位置での画像を

復元することに成功した。(図6、文献18)

機械的なレンズ駆動ではなく、液晶レンズを用いて焦点距離を変えている方法が興味深い。液晶レンズが実用的になれば、三次元カメラやオートフォーカスなどさまざまな分野への応用が期待される。(多久島 秀)



LCレンズを用いた三次元情報計測系の模式図

フォトリックバンドを大きく変調可能なデンドロン分子安定化ブルー相液晶

Dendron-Stabilized Liquid Crystalline Blue Phases with an Enlarged Controllable Range of the Photonic Band for Tunable Photonic Devices

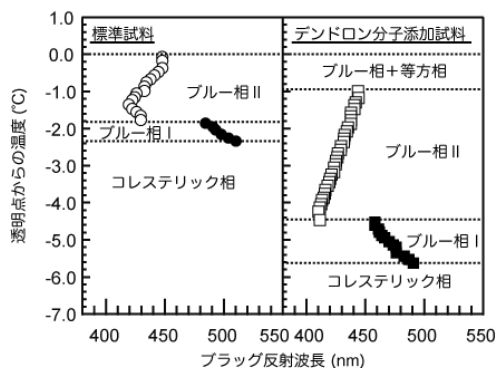
[S. Shibayama, H. Higuchi, Y. Okumura and H. Kikuchi; Adv. Funct. Mater., 23, No. 19 (2013) 2387-2396]

ブルー相は可視波長程度の三次元的周期秩序を有する液晶相であり、電界により格子周期を変調できることから、光学素子への応用が検討されている。一方、発現温度範囲が狭いことや、格子周期の変調量が小さいことから、改善が必要とされている。著者らはブルー相液晶にデンドロン型分子を添加することにより、上記の特性の改善を報告している。ブルー相液晶にデンドロン型分子を混合することで、発現温度範囲は2.1°Cから4.6°Cに拡大し、ブラッグ波長の変調量は85 nmから109 nmに増大した。このような改善がみられる要因として、著者らは液晶の弾性定数の変化を挙げている。液晶は異方性に由来する3つの弾性定数を有するが、デンドロン型分子の添加により、広がり弾性定数と曲がり弾性定数の比 (K_{33}/K_{11}) が0.4から0.01まで減少した。小さい K_{33}/K_{11} がブルー相を安定化することはシミュレーションによる予測とも一致していることから、相対的な曲がり弾性定数の減少がブルー相の安定性を向上させたかと考察している。(図9、表5、文献98)

可視光波長程度という、分子からすれば巨大な周期構造の振る舞いが、少量の添加材によって大きく影響を受けることが興味深い。今

後、ブルー相液晶が有用な光学材料となることに期待したい。

(吉田 浩之)



標準試料とデンドロン分子添加試料におけるブルー相の発現温度範囲

静電気力で変形する型で複製された、形状制御可能な高分子マイクロレンズアレイ

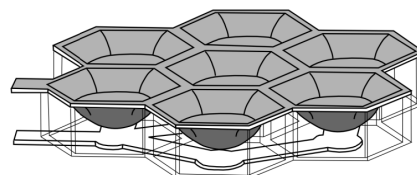
Shape-Controllable Polymeric Microlens Array Duplicated by Electrostatic Force Deformed Template

[Z. Wu, Q. Wang, H. Sun and M. Lu; Opt. Eng., 52, No. 6 (2013) 063401]

MLA (microlens array) は、ビーム均質化や成形、ディスプレイ、複眼画像記録等の光学システムで広く利用されている。現在の製法としては、切削加工等で作製した金型を用いてガラスやポリマーで複製を行う方法が一般的である。しかし、この製法では近年必要とされるような微小な MLA に対しては限界があり、さらに有効で低コストな技術が求められている。本論文は、導電性の膜に電圧を印加して変形させたものを型としてポリマーで複製を行う、いわゆる MEFDT 法 (molding by electrostatic force deformed template) に関する研究である。著者らの実験では、シリコンウェハを基板とした半導体プロセスで可変型を作製し、印加電圧の制御で焦点距離を 170 μm から 220 μm へ段階的に変化させた MLA が成形できており、10%前後の誤差はあるもののシミュレーションとも近い値が得られている。また、表面粗さは 2 nm 以下であり、光学部品の平坦度としても許容できるレ

ベルである。(図7、文献31)

レンズ断面の非対称性やレンズ間の流動流路の課題はあるものの、今回用いた MEFDT 法は微小な MLA を低コストで作製するための新たな手法として有用であり、今後の動向に注目したい。(藤代 一朗)



電圧印加によって変形した型の模式図

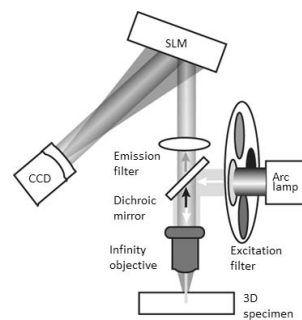
フレネルインコヒーレント自己相関ホログラフィー (FINCH)

Fresnel Incoherent Correlation Holography (FINCH): A Review of Research

[J. Rosen and G. Brooker; Adv. Opt. Technol., 1, No. 3 (2012) 151-169]

位相と振幅の三次元情報が一度に得られるとして、デジタルホログラフィー顕微鏡の開発が近年盛んに行われている。著者らは自己相関型のインコヒーレントホログラフィー顕微鏡を開発し、従来のイメージングに近い特徴をもち、なおかつ、より高解像なイメージングが得られる FINCH システムを構築した。FINCH システムは、試料から出射したインコヒーレント光が対物レンズ・ダイクロイックミラー・吸収フィルターを通り、SLM (spatial light modulator) で異なる曲率をもつ2つの収束光に分離され、分離された収束光は CCD (charge coupled device) 上で干渉しホログラムを形成する構成である。物体光が参照光としても動作するため、インコヒーレント光でのホログラム形成が可能である。また、ホログラムはインコヒーレント光で記録され、再生計算はコヒーレントの手法で行われるため、最適条件では再生光学系の NA が2倍となり、高解像度を得ることができる。(図17、文献27)

イメージングを高速で得られる新しい手法として、今後の開発が期待される。(田辺 綾乃)



FINCH の概略図

インコヒーレント光でホログラム像を形成するため従来通りの蛍光観察が可能であり、さらにレーザー共焦点顕微鏡を超える高解像度イ