

### フェムト秒周波数コム光源を用いた低コヒーレンスデジタルホログラフィーによる多段断層像の撮影

Short Temporal Coherence Digital Holography with a Femtosecond Frequency Comb Laser for Multi-Level Optical Sectioning [K. Körner, G. Pedrini, I. Alexeenko, T. Steinmetz, R. Holzwarth and W. Osten: Opt. Exp., 20, No. 7 (2012) 7237-7242]

ホログラムを撮影する際、銀塩などの乾板の代わりに CCD や CMOS のような電子撮像機器を用いて撮影する手法を、デジタルホログラフィーとよぶ。これまでデジタルホログラフィーを用いた物体の形状計測の研究が数多くなされ、さまざまな手法が提案されている。低コヒーレンスホログラフィーは物体光と参照光の光路長が一致する干渉縞だけを記録する手法であり、物体の断層撮影が可能である。撮影する断層の位置は参照鏡の位置を動かすことで選択でき、これを利用して物体の三次元形状を取得することができる。また、近年、光周波数コム光源の開発と応用が進んでいる。周波数コム光源は等しい周波数間隔で並んだスペクトルをもつ光を放出する光源である。縦コヒーレンスも周期性をもち、干渉計において光路長を変えていくとコヒーレンスピークが周期的に現れる。ホログラフィーの撮影光源として光周波数コム光源を用いると、深さ方向に等間隔な平面に

おける物体の断層図が取得できる。断層面の間隔は光源のスペクトル間隔に、分解能はスペクトル包絡線の幅に反比例する。本論文では、断層面の位置を走査するために参照鏡を機械的に移動させているが、可変長ファブリー・ペロー干渉計を用いるなどして、光周波数コム光源のスペクトル間隔を走査すれば、機会駆動部なしで物体の三次元構造全体を取得できる。また、光周波数コム光源の中には非常に高出力のものがあり、それを用いれば飛行機やビルのような巨大構造物の形状計測にも適用が可能である。(図3, 文献22)

近年発展のめざましい光周波数コム光源のホログラフィー応用ということで取り上げた。本論文で示された実験結果の範囲においては新しい利点は示されていないようにみえるが、光源の特性を生かした今後の発展に期待したい。(和田 篤)

### 厳選された周波数をもつ2枚の縞パターンからの絶対位相分布の復元

Recovering the Absolute Phase Maps of Two Fringe Patterns with Selected Frequencies [Y. Ding, J. Xi, Y. Yu and J. Chicharo: Opt. Lett., 36, No. 13 (2011) 2518-2520]

位相計測に基づいた縞投影三次元計測法では、 $(-\pi, \pi)$  の範囲に折り込まれた位相情報から絶対的な位相情報を復元する位相アンラッピング処理が必要である。異なる周波数をもつ複数の縞画像を利用する時間領域位相アンラッピング方式は信頼性の高い位相アンラッピングが可能であるが、多数の縞画像が必要であり、その枚数や周波数の選択にさまざまな制約がある。本論文では、厳選された周波数をもつ2枚の縞画像から絶対位相を復元する手法を提案している。まず正規化された周波数  $f_1, f_2$  をもつ縞画像を考える。ここで  $f_1, f_2$  は整数である。それぞれの絶対位相値  $\Phi_1, \Phi_2$  とラップされた位相値  $\phi_1, \phi_2$  から関係式  $\{f_2\phi_1(x) - f_1\phi_2(x)\} / 2\pi = m_2(x)f_1 - m_1(x)f_2$  が得られる。ここで  $m_1(x), m_2(x)$  は  $2\pi$  の位相曖昧さに関する整数である。この式の右辺が整数になる条件に基づいて、 $\Phi_1, \Phi_2$  の取り得る範囲を場合分けすることにより  $m_1(x)$  と  $m_2(x)$  を決定する関係式を得ることができる。しかし、 $\Phi_1, \Phi_2$  は直接利用できないので  $m_1(x)$  と  $m_2(x)$  は直接求

めることができない。ここで周波数1の縞画像を仮定し、その絶対位相を  $\Phi_0$  とすると、 $\Phi_0$  の範囲から  $m_1(x)$  と  $m_2(x)$  を決定する関係式を得ることができる。このとき  $\Phi_0$  の範囲に対応して  $m_2(x)f_1 - m_1(x)f_2$  より計算される値が異なる場合がある。この関係を用いてルックアップテーブルを作成すると、 $m_2(x)f_1 - m_1(x)f_2$  の値から  $m_1(x)$  と  $m_2(x)$  を決定することが可能になり、絶対位相値を直接求めることができるようになる。周波数の組み合わせとして、 $f_1 = 5, f_2 = 8$  および  $f_1 = 12, f_2 = 17$  の場合のルックアップテーブルが示されている。実験により  $f_1 = 5, f_2 = 8$  の2枚の縞画像から絶対位相分布が得られることを確認している。(図1, 表3, 文献12)

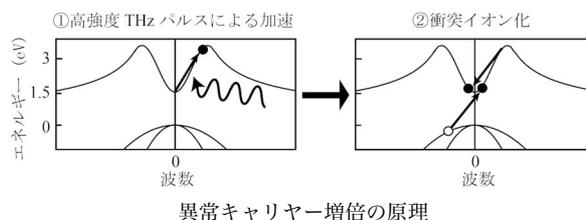
周波数の組み合わせは限定されるが、ルックアップテーブルを用いて絶対位相を求めることができるので、三次元復元処理の高速化においては有効な手法であると思われる。実時間三次元計測システムへの適用が期待される。(吉川 宣一)

### ピコ秒電場パルスによってゲート制御された異常キャリア増倍

Extraordinary Carrier Multiplication Gated by a Picosecond Electric Field Pulse [H. Hirori, K. Shinokita, M. Shirai, S. Tani, Y. Kadoya and K. Tanaka: Nat. Commun., 2 (2011) 594/1-6]

半導体キャリアを増倍させることは、高効率な太陽電池や電気発光素子、高感度光子検出器などを設計する際に鍵となるポイントである。著者らは、ピーク強度が  $1 \text{ MVcm}^{-1}$  で幅が  $1 \text{ ps}$  程度という高強度テラヘルツパルスを発生させることに成功しており、そのテラヘルツパルスをガリウムヒ素の多重量子井戸に照射することで、半導体キャリア数が通常状態の1000倍という異常な増加を示すことを発見した。さらにその異常増加は、テラヘルツ電場による電子の急激な加速とそれに続いて起こる衝突イオン化過程が  $1 \text{ ps}$  のパルス持続時間中に繰り返し起こることによるものと明らかにした。電子は電場に比例した力を受けるので、電場強度に比例して加速される。そして、伝導帯の高エネルギー領域まで到達した電子は、エネルギー保存則と運動量保存則を満たすように価電子帯電子とクーロン散乱を起こし、伝導帯電子2個と価電子正孔1個が生成される。この現象は加速によって得られるエネルギーに関して閾値があり、照射するテラヘルツパルス強度によって制御できる。著者らは、長く未踏な周波数領域であったテラヘルツ帯において超高速に動作するデバイス開発へと繋がることを期待している。(図5, 文献34)

テラヘルツ周波数領域の技術は近年急速に進展し、強度や波形などを制御してテラヘルツ波を発生できるようになりつつある。個人的には、テラヘルツ波のエネルギーが電子のバンド内運動によるエネルギー変化に相当することに注目していたが、本研究成果はそのような特性かつ非常に高強度である利点を最大限に活用したものであり、新しい非線形性の発現という意味で物理的にも興味深い。(石川 陽)

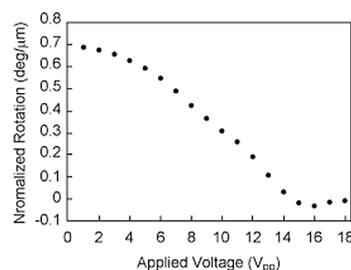


## 屈曲形分子 / 棒状分子の混合液晶における光学活性の電界制御

Electric-Field Controllable Optical Activity in the Nano-Segregated System Composed of Rod- and Bent-Core Liquid Crystals  
[F. Araoka, G. Sugiyama, K. Ishikawa and H. Takezoe: Opt. Mater. Express, 1, No. 1 (2011) 27–35]

屈曲形液晶分子は自身がアキラルであるにもかかわらず、分子形状に起因したキラルな液晶相を発現する特異な材料系である。著者らはそのような屈曲形分子に棒状分子を混合することで、光学活性の電界制御を実現した。本論文で用いられている屈曲形分子 (P8-O-PIMB) は、単体では分子が層構造を保ちながら捻れ、ナノオーダーのらせん状フィラメントを形成した  $B_4$  相とよばれる液晶相を発現する。著者らは P8-O-PIMB に棒状分子 (5CB) を 50% 以上添加することで、 $B_4$  相とは異なる挙動を示す液晶相 (論文では  $B_X$  相とよばれている) が新たに発現することを見いだした。 $B_X$  相の詳細な構造は明らかにされていないが、 $B_4$  相と同様に光学活性を示すことから、らせん状ナノフィラメント中に 5CB 分子が入り込んだ高次構造を形成していると考えられる。 $B_4$  相は電界に対して応答を示さないが、5CB は印加電界方向に分子再配列を起こすため、 $B_X$  相では電界による光学特性の制御が可能となる。著者らはこの原理を利用し、波長 550 nm において 0.7 deg/ $\mu\text{m}$  から 0 まで、連続的に旋光能を制御することに成功した。(図 9, 文献 21)

異種形状の分子を混合することで、純物質にはない新たな液晶相や光学機能が発現することは興味深い。現状では基礎科学的な観点からの研究が多いが、理解が深まるにつれ、さまざまな光学応用が提案されることが期待される。(吉田 浩之)



$B_X$  相における旋光能の印加電圧依存性 (波長 550 nm)

## 結合素子と横方向テーパ垂直多重ステップ導波路があるレーザー支援磁気記録配光構造

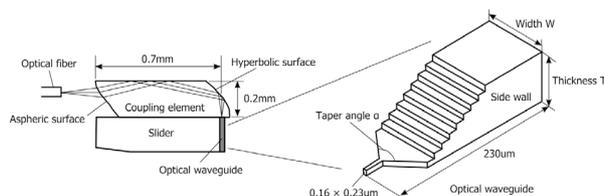
Laser-Assisted Magnetic Recording Light-Delivery System with a Coupling Element and a Laterally Tapered Vertically Multisteped Waveguide

[S. Hasegawa and W. Odajima: Opt. Rev, 18, No. 1 (2011) 47–53]

ハードディスクの記録密度の増加は著しいが、近年では技術上の壁により記録密度の成長に陰りがみえてきており、この壁を打破する多種多様な研究がなされている。著者らは光 (レーザー) を用いた熱アシストにより記録を行う磁気記録ヘッドとして、光源からのレーザー光を導波路へ導く結合素子とスポットサイズを変換する導波路の開発を試みている。ハードディスク用の部材としては高い生産性を求められるため、素子や導波路の作製方法も重要である。本論文では、高 NA で導光と集光一体型の結合素子を成形にて作製し、またテーパ付き多重ステップ導波路を半導体プロセスによって作製する方法を提案し、低コストで高効率な配光構造の実現可能性を示している。実際に作製された結合素子と MPFE 法 (mode propagation by Fourier expansion) を用いた導波路シミュレーションの結果から、導波路から距離 20 nm で  $145 \times 208$  nm (FWHM) のスポットサイズ、約 80% の効率が得られ、十分実用に値することを示している。(図 14, 文献

27)

結合素子、導波路ともに生産性までを考慮した配光構造を提案している点が非常に興味深い。「1 平方インチあたり 1 Tbit」の記録密度の壁を突破する磁気ヘッド技術のひとつとして、著者らの今後の動向に注目したい。(藤代 一朗)



結合素子と横方向テーパ垂直多重ステップ導波路の概念図

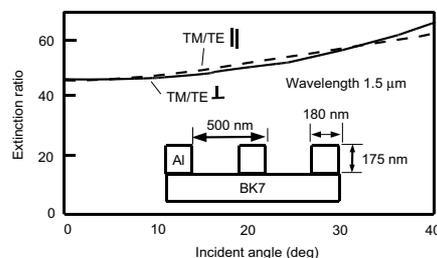
## 生物模倣構造を有する偏光選択レンズの製作と評価

Fabrication and Characterization of a Biomimetic Polarization Selective Lens

[A. T. Cannistra, R. A. Hudgins and T. J. Suleski: Opt. Lett., 37, No. 6 (2012) 1088–1090]

生物の構造を模倣した微細構造をもち周期が波長よりも短いサブ波長格子を、レンズなどの曲面上へ製作する技術開発が活発に行われている。微細構造の製作方法としてリソグラフィー技術が知られているが、通常、露光プロセスやレジストのコーティング技術は平面基板上を想定しているため、曲面上へ微細構造を形成するには新たな技術開発が不可欠である。著者らは、スプレーによるレジストのコーティング技術と干渉露光技術を用いて、曲面上にワイヤグリッド偏光子 (wire-grid polarizer; WGP) の製作を行っている。曲面基板には、材質 BK7、曲率半径 7.7 mm、有効径 12.5 mm の凸レンズを用いた。また、WGP の格子部はアルミニウムで構成されており、周期 500 nm、高さ 175 nm、格子の山幅 180 nm である。波長 1500 nm において入射角  $0 \sim 40$  deg の範囲で、TE 偏光に対する TM 偏光の透過率の比 (消光比) がおおむね 1 : 40 以上となるように設計した。製作された WGP を有する偏光選択レンズを評価したところ、垂直入射で消光比 1 : 42.6、入射角 21.5 deg で消光比 1 : 48.9 と良好な光学特性が得られた。(図 5, 文献 12)

干渉露光とスプレーによるレジストの均一コーティング技術を併用することにより、レンズ上に広角面にわたって高い消光比を維持する WGP の製作を行えたことは興味深い。生産効率の向上とあわせて、今後の展開を期待したい。(岡野 正登)



曲面上ワイヤグリッド偏光子の入射角に対する消光比