

気になる論文コーナー

分光反射率分布測定と虹色の蝶の鱗粉のモデリング

Spectral Imaging, Reflectivity Measurements, and Modeling of Iridescent Butterfly Scale Structures
[S. Mann, I. Miaoulis and P. Wong: Opt. Eng., 40, No. 10 (2001) 2061-2068]

一部の蝶の羽は光沢をもち、傾けると色が変わるなど、微細なパターンの刻まれたシリコンウェハのような光学特性をもつ。これは羽を被う鱗粉の構造によるものである。

本論文では美しい青色の真珠光沢を放つ羽をもつモルフォメナウスの鱗粉のスペクトルおよび反射率測定とモデリングを試みている。

まず、微視的領域の分光反射率を測定するための装置開発を行っている。これは改造を加えた顕微鏡、分光器、CCDを組み合わせており、 $0.348 \times 0.348 \mu\text{m}^2$ の領域の分光反射率が波長 400~900 nm で測定可能になった。この装置では、アルミニウムとシリコン表面反射率を参照値として用いることによって、測定波長域 400~520 nm で $\pm 3\sim 4\%$ 、520~900 nm で $\pm 1\%$ という高い精度を確保している。この装置により、いくつかの蝶の羽の構造について価値ある情報が得られているという。ただしモルフォメナウスの鱗粉構造はしばしば $0.1 \mu\text{m}$ 以下であり、この装置をもってしても構造と分光反射率の関係を完全に特定することは困難である。

モルフォメナウスの羽の光学特性は薄膜干渉、散乱と、回折の組合せにより生じている。鱗粉構造のモデリングは電子顕微鏡像を元に行われた。その構造は樹木のような構造がならんだ構造になっており、解析には effective area モデルと effective index モデルが用いられた。「樹木」の「幹」にあたる領域は反射率を減らす効果があり、「樹木」の「枝葉」にあたる領域は積層薄膜として働く。さらに「幹」を挟んだ「枝葉」の高さに違いがある。積層薄膜の各層の屈折率は effective index モデルにより定められた。これらのモデリングによって、モルフォメナウス蝶の羽の独特な光学特性は説明できた。(図 11, 文献 13)

既知の反射率をもつ 2 つの物質を参照として用いることにより、比較的安価な CCD カメラで微視的領域の分光反射率を、広波長範囲で精度よく分光反射率を測るテクニックは応用範囲が広い。さらに微小領域に対応させることも考えているようなので、これにも期待したい。また、自然の造形の複雑さ、不思議さに改めて驚かされた。

(上田 健)

その場観察分極ドメイン形成により作製された、LiTaO₃ 広角スキャン電気光学偏向器

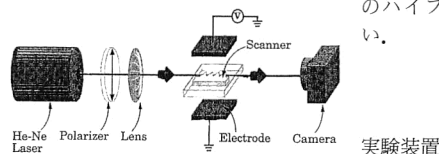
Large-Angle Electro-Optic Laser Scanner on LiTaO₃ Fabricated by *in situ* Monitoring of Ferroelectric-Domain Micropatterning
[D. A. Scrymgeour, Y. Barad, V. Gopalan, K. T. Gahagan, Q. Jia, T. E. Mitchell and J. M. Robinson: Appl. Opt., 40, No. 34 (2001) 6236-6241]

レーザー光を高速に走査する光偏向器は光通信、レーザーディスプレイ、光記録などさまざまな応用が見込まれる。近年、ガルバノスキャナーやポリゴンミラーといった従来からあるマクロな偏向素子と違ってかわって、マイクロマシン技術を駆使した、光 MEMS スキャナーなどの研究が盛んである。本論文では、可動部をもたない高速光偏向素子として、電気光学効果を利用した最大 14.88° の偏向角をもつ分極反転 LiTaO₃ 偏向器を実現している。電気光学偏向の基本原理は既知である。Z-カット LiTaO₃ にプリズムが直列に並んだような分極反転領域を形成する。z 方向に電界を印加すると、電気光学効果により分極方向に対応して屈折率が増加あるいは減少し、プリズム列が結晶内部に形成された形となる。レーザー光は屈折率差を有する分極壁にてつぎつぎと偏向し、結果として大きな偏向角が得られる。本論文ではプリズム頂角がレーザー光伝搬にしたがって変化するような最適化設計を行い、大きな偏向角を実現している。また、作製時に分極反転ドメインをリアルタイムに観察し(微分干渉観察)、分極反転を正確に

制御したことも、偏向角の拡大に寄与したと報告している。(図 8, 文献 17)

電気光学偏向の性能指数は伝搬光のビーム径広がり、素子長、素子幅で決まる。また、印加電界強度はドメイン反転を起こさない範囲に制限される。本素子では、素子長さ 15 mm、基板厚さ $286 \mu\text{m}$ にて、異常光線に対して $1.80^\circ/\text{kV}$ の偏向効率を実現した(波長 632 nm)、偏向速度に関しては明確な記述はないものの、印加電圧の大きさから、数 MHz 以下に制限されるものと予測される。今後は、導波路閉じ込めによる性能指数改善、分極反転位相整合波長変換などの機能とのハイブリッド化を期待したい。

(菊池 啓記)



実験装置

任意形状回折格子における階段近似の正当性

Staircase Approximation Validity for Arbitrary-Shaped Gratings

[E. Popov, M. Nevier, B. Gralak and G. Tayeb: J. Opt. Soc. Am. A, 19, No. 1 (2002) 33-42]

回折格子を厳密に記述する方法として、厳密結合波法(RCWM)が広く使われている。本来、この方法は矩形格子を扱うものであるが、正弦波形等の任意形状の回折格子に対しても階段状に近似して適用されることが多い。しかし、この近似の正当性については十分に確認されていない。本論文では、周期 $0.5 \mu\text{m}$ 、深さ $0.2 \mu\text{m}$ のアルミニウム正弦波格子に階段近似を適用して RCWM およびモード法で計算した場合と形状の近似を必要としない微分法で計算した場合の比較によって、階段近似の妥当性を検証している。この結果、TE 偏光では階段近似に大きな問題はないものの、TM 偏光では階段のエッジ近傍に元の正弦波格子では存在しない電場の鋭いピークが現れることがわかった。これは階段形状の角に電荷が局在することにより現れる物理現象を表しているもので、アルゴリズム上の問題ではないと著者らは考えている。また、近似精度を上げるために段数を増やしても電場ピークの数が増えてしまうため、結果に差がないばかりか、展開項数が著しく大きくなるので、計算時間の増大を招くことになる。例えば、回折

効率を 1% の精度で計算するために RCWM は微分法の 30 倍の時間を要する場合があり、TM 偏光、任意形状の金属回折格子の計算には適さないとの結論を導いている。(図 12, 文献 22)

最近の計算機性能の著しい向上により、RCWM+階段近似での任意形状格子の解析は一般的であるが、この方法を無条件に適用してよいものではないという問題提起に対して、心当たりのある方も多いと思う。1 つの問題に対して複数の解法の長所短所を明確に把握し、状況に応じて選択することの必要性を改めて認識させられた。(関根 義之)