

フォトニック結晶形機能集積素子と応用機器の工業化

研究者：川上 彰二郎 東北大学 名誉教授

株式会社フォトニックラティス ファウンダー

開発企業：岸田 勝人 株式会社フォトニックラティス 代表取締役社長

(推薦者：井口 泰孝 公益財団法人 みやぎ産業振興機構 理事長)



川上 彰二郎氏



岸田 勝人氏

1. 技術の背景

偏光という光の性質は、光の流れの制御や物質の性質を測るため日常的にも工業的にも広く利用されている。それを支える偏光計測技術もこれまで様々な研究開発がなされ発展してきた。多くの偏光計測は偏光素子を回転させるなどして得た時系列データを解析することによってなされる。これに対して本技術の偏光イメージングは、駆動部なしで2次元の偏光情報を実時間にて計測する方法であり、従来の方法とは一線を画している。そのコア技術は、フォトニック結晶という独自技術に基づく偏光光学素子を利用することにある。

2. 技術の概要

図1は、コア技術である自己クローニング型フォトニック結晶と、その形成方法の概念を示している。使用波長の1/2以下の周期をもつ凹凸パターンを形成した基板の上に、屈折率の異なる2種類の誘電体材料を交互に積層する。成膜をスパッタリング法で行うこと、さらに成膜条件を適切に選ぶことで、図1(b), (c)に示すような安定な三角形状が自己形成され、繰り返される。この三角形状は、基板表面で起こる堆積とエッチング効果の

バランスによって安定的に形成され、これまでに百層以上の積層も実現している。このように複雑に見える構造でも、本フォトニック結晶は再現性の高いプロセスで製造することができ、工業的な利用を可能にしている。

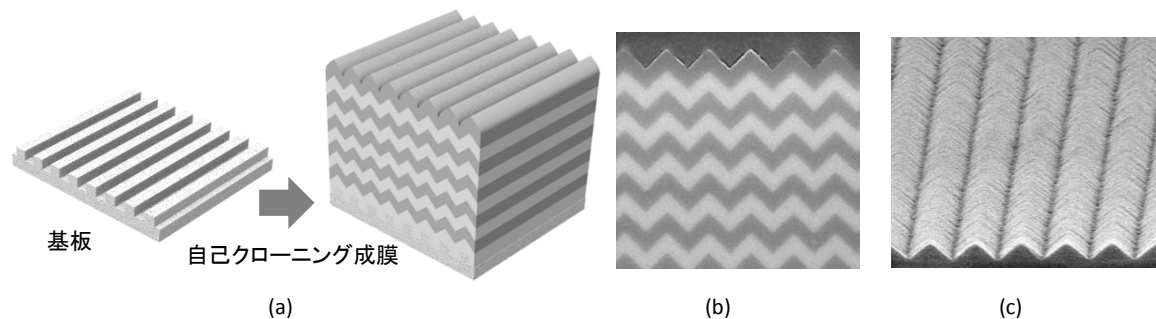


図1 自己クローニング型フォトニック結晶とその形成方法

上記のフォトニック結晶は、構造的な異方性を持つことから、偏光依存性を有する光学素子、例えば偏光子や波長板として機能する。図2はフォトニック結晶偏光素子の動作概念を表している。(a)に示す偏光子では、無偏光の光が入射すると溝に垂直方向の直線偏光だけが透過する。また(b)に示す波長板では、偏光を変換する機能（例えば直線偏光から円偏光に変換する機能）を実現する。使用する波長に対して層の厚さを選ぶことで両者を選択して実現することができる。

これらの素子の特徴は、素子厚が薄いこと、耐パワー性や耐熱性が高いこと、使用波長を深紫外まで拡大できること等が挙げられる。フォトニック結晶光学素子は、これまでブルーレイレコーダ用のピックアップや光通信デバイス等の製品に組み込まれ市場導入もされている。しかしフォトニック結晶光学素子を従来素子と比べたときの最大の特長は、軸方向の異なる偏光素子を同一基板上に一括集積できることにある。図3は8分割に領域分割した波長板と同心円状偏光子の例を示す。

次にこの領域分割の特徴を活かした応用として偏光イメージングセンサ（図4）について述べる。図中の集積偏光子はフォトニック結

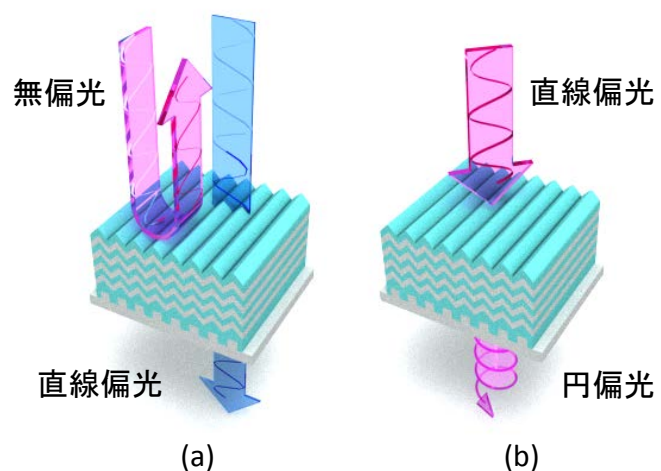


図2 フォトニック結晶を用いた光学素子. (a)偏光子, (b)波長板

晶からなる。偏光子一つの大きさはCCDイメージセンサ（以下「CCD」）の各画素と同じ約5

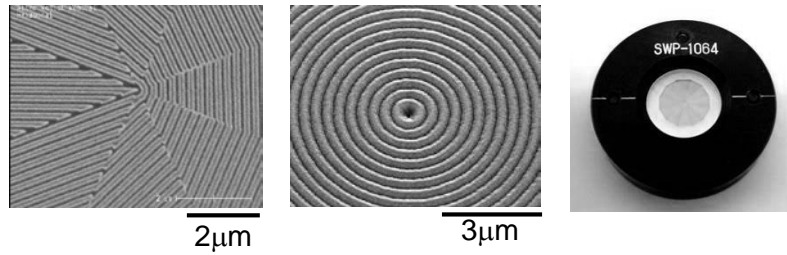


図3 パターン化したフォトニック結晶素子. (a)8分割, (b)同心円, (c)素子概観.

軸が45度ずつ異なる4領域が交互に形成されている（細かい筋が偏光軸方向を表す）。ここでは100万のCCD各画素と1:1で組み合わせるため、偏光子も100万画素分形成されている。出力される画像情報を解析することで2次元の偏光情報が得られる。通常の偏光計測では、光センサの前面で偏光子を回転させながら透過する光強度を測定しているため、瞬時性がなく、偏光子を回転するための付帯設備が大掛かりになるが、本偏光イメージングカメラでは、瞬間の偏光測定が可能であり、PCとカメラだけの極めてシンプルな構成となっている。

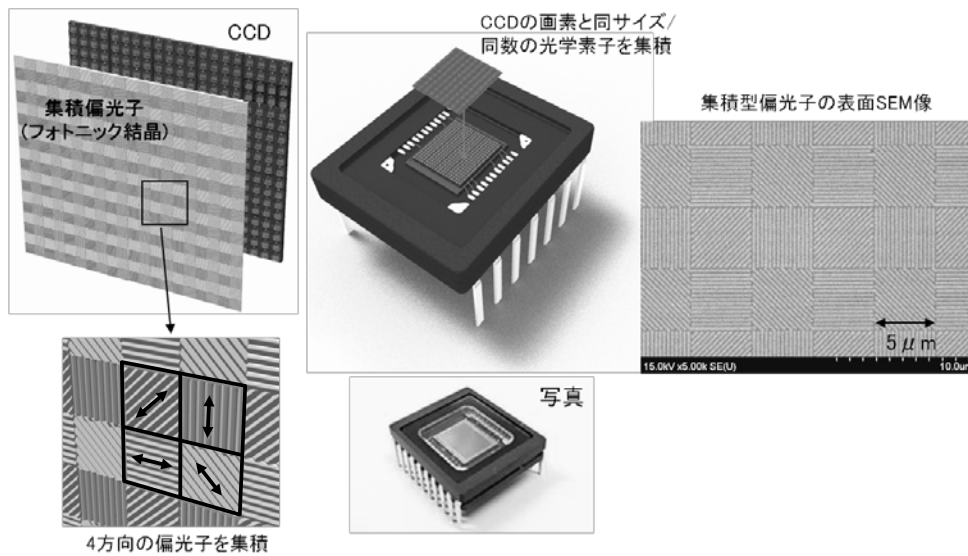


図4 フォトニック結晶機能集積素子を用いた偏光イメージング・センサー

偏光イメージング技術は、計測、検査、バイオテクノロジー、リモートセンシングなど幅広い分野への応用が期待される。特に注目されているのは、次に示す透明材料の内部歪みの評価への応用である。

2次元複屈折評価システムは、上記の偏光イメージングを利用して、透明材料（ガラスやプラスチック）の内部歪等の光学的評価を行う計測システムである。透明材料は、応力を受けると歪みにより複屈折が生じ、応力の方向に平行と垂直の2つの偏光で透過の際に波面に差が生じる。これをnm単位で表したのがリターダンスである。リターダンスは、偏光として観測することができるため、偏光イメージング技術によりリターダンスの

2次元分布を測定できるようになる。プラスチックレンズをはじめとする樹脂成型品やディスプレイ用ガラスなど製造工程中の歪みを定量的に管理することができ、歩留まり向上に貢献できるなど工業的にも意義は大きい。

図5に当社が製品化した2次元複屈折測定システムを示す。光源（円偏光）の上方に偏光イメージングセンサを配置したシンプルな構成である。予め光源の偏光状態を計測しておき、次いでサンプルを光源の上に置き、サンプルを透過してきた後の偏光分布を測定する。任意の方位の歪みに対しても、1回の測定（解析を含めて数秒程度）で25万点（繰り返し再現性0.1nm以下）の2次元のリターダンスが得られる。

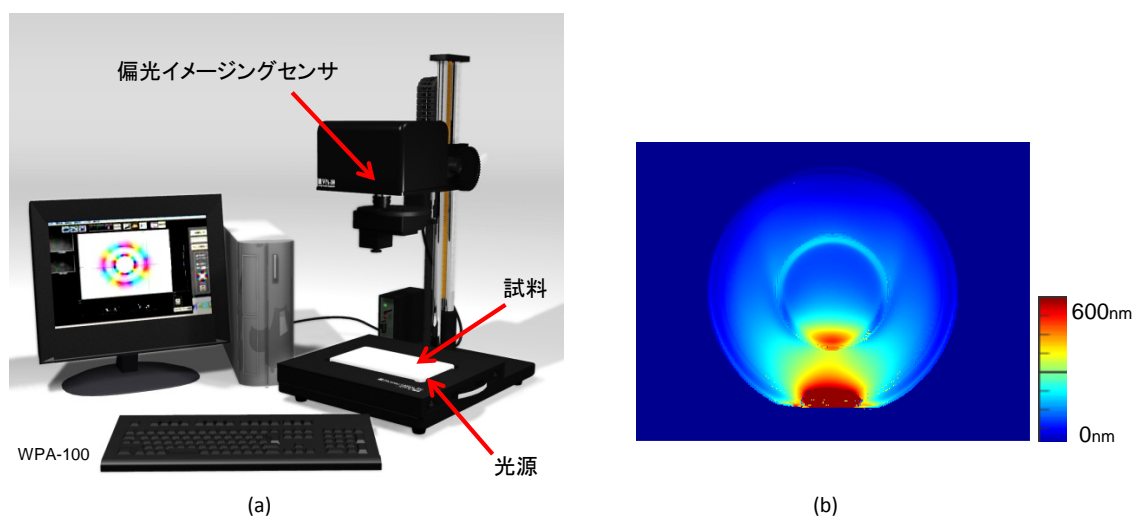


図5 2次元複屈折評価システムと測定例. (a)外観、(b)プラスチックレンズの測定例.

図5(b)は射出成型で作られたレンズの測定結果である。色がリターダンスの大きさを示しており、特徴的な分布が一目でわかる。ポイント計測では時間の制約で測定点が限られるが、本手法では空間的に連続的な分布を得ることができ、これまで見えなかった細かい分布を逃さずに検出することができる。

3. 効果

フォトリソグラフィ結晶偏光素子は独自の技術であり、素子単体と応用機器として様々な分野で利用されている。その1つがフォトリソグラフィ結晶とCCDとを組み合わせた偏光イメージングセンサであり、更に市場ニーズに適用した製品として2次元複屈折評価システムがある。1nm以下の微小なリターダンスや、波長オーダーの大きなリターダンスの2次元分布の計測が可能となり、プラスチックレンズや透明フィルムなどの製品検査へ適用が広まっている。本偏光計測技術は従来技術の延長線上では実現できなかったことを可能とするもので、様々な産業分野への展開が期待される。