

フォトニック結晶偏光子の高性能化と応用技術の研究開発 (042202009)

Improvement of photonic crystal polarizers and their applications

研究代表者

川上彰二郎 仙台応用情報学研究振興財団

Shojiro Kawakami Sendai Foundation for Applied Information Sciences

研究分担者

佐々木良裕[†] 馬場 亮吉[†] 津留俊英[†] アントニー・ガレア[†]

ローラン・ファールブル[†] 佐藤和俊[†] 千葉貴史[†]

佐藤尚^{††} 川嶋貴之^{††} 石川理^{††} 阿部広之^{††} 田所利康^{††} 大寺康夫^{†††}

Yoshihiro Sasaki[†] Akiyosi Baba[†] Hidetoshi Tsuru[†] Antony Galea[†] Laurent Fabre[†]

Kazutoshi Sato[†] Takafumi Chiba[†] Takashi Sato^{††} Takayuki Kawashima^{††} Wataru Ishikawa^{††}

Hiroyuki Abe^{††} Toshiyasu Tadokoro^{††} Yasuo Ohtera^{†††}

[†]仙台応用情報学研究振興財団 ^{††}株式会社フォトニックラティス ^{†††}東北大学

[†]Sendai Foundation for Applied Information Sciences ^{††}Photonic Lattice Inc. ^{†††}Tohoku University

研究期間 平成 16 年度～平成 20 年度

概要

本プロジェクトでは申請者がこれまで発案・開発してきたフォトニック結晶製造技術である自己クローニング法を元に、基本光学部品としての偏光子の機能高度化と、計測機器への展開をおこなう。具体的には

- (1) 偏光子の使用波長域拡大・アレイ化技術（微細性、一様性）
- (2) 偏光子アレイを用いたエリプソメータ、イメージセンサの実現

の二つである。応用機器として当初計画のほか、パタン化技術を元に新しいイメージング技術・光学技術を複数発案した。プロジェクト後半では、①当初構想の応用機器の完成度を上げ、産業化の実績を更に拡大すると共に、②新規着想の実証と実用化開発を行なった。

Abstract

The strength of the R&D team is a unique technology of fabricating photonic crystals (“Autocloning”). With the aid of this SCOPE project, the team achieved:

- (1) Advances of novel photonic crystal chips. A typical example is the record shortest wavelength DUV (deep ultraviolet) polarizers ($\lambda \sim 250\text{nm}$).
- (2) Innovation of polarization imaging techniques and instruments. Ellipsometers and polarization cameras using patterned photonic crystals have been developed. The achievements of both (1) and (2) have been industrialized.

1. まえがき

本プロジェクトの基本技術となるフォトニック結晶偏光子の構造を図 1 に示す。周期 L の凹凸パタンを形成した基板に誘電体の交互多層膜が積層された構造である。多層膜の断面は、基板の周期と同じ周期の三角波状の凹凸構造を有している。この構造異方性により、溝に並行な偏光が遮断（反射）し、垂直な偏光が透過する薄型の偏光子として動作するものである。

本プロジェクトにおける課題は、①偏光子としての使用波長の拡大（UV から近赤外）と、②偏光子アレイの作製技術と偏光イメージングセンサーの実現、③偏光子アレイを元に新規に着想したデバイスの実証の 3 点である。

2. 研究内容及び成果

(1) 偏光子の使用波長域の拡大

フォトニック結晶偏光子の特徴の 1 つは、無機材料のみで構成されるため耐パワーに優れている点である。そのため従来の有機物からなる偏光子に比べて産業的応用価値が極めて高い。

①可視域全域への対応：例えば高耐パワー偏光子の応用の一つに液晶プロジェクタが挙げられる。ここでの利用を想定すると、一般的な青色帯の波長帯域は 420nm から約 520nm であり、 $\Delta\lambda/\lambda$ は約 20% となる。この帯域を実現

できれば産業上極めて重要であるため、本プロジェクトの目標値とした。

FDTD 法による電磁波解析を元に最適な周期構造の設計と、100 層を超える超多層フォトニック結晶の製造技術の確立を行った。その結果、可視域全体を Blue (420-520nm)、Green (520-580nm)、Red (580-680nm) の三つに分けて 3 枚の偏光子で隙間なくカバーできるようになり、可視全域の 3 枚によるシームレス化が達成された。これは画像プロジェクション技術における意味が大きい。一つの実用は液晶プロジェクタで使用する偏光子である。フォトニック結晶で置き換えることで機器の小型化・高輝度化が可能になる。製品化を目指した製造メーカーへのライセンスを実施した。

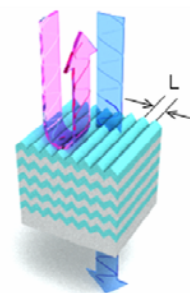


図 1 フォトニック結晶偏光子

②紫外域への対応：紫外域における偏光子は、現状は高価な異方性結晶プリズムからなるものに限られており、板状で実用なものはない。特に波長 300nm 以下の DUV 帯

において、比較的大きな開口をもつ板状の偏光子が実現できれば、半導体プロセスにおけるリソグラフィや基板上の微小パーティクル検出の目的で利用されるなど産業上大きなインパクトがある。

微小凹凸パターン基板の製造技術、UV 用薄膜材料の検討、成膜条件の検討を行なった。薄膜材料として HfO_2 と SiO_2 を用いて作製したフォトニック結晶偏光子の透過特性を図 2 に示す。波長 $266\text{nm} \pm 10\text{nm}$ で偏光子として動作していることがわかる。動作波長の中心である 266nm における偏光子の消光比は 28dB と高いことを確認した。十分な高い消光比が得られたことから、パーティクルの検出や、偏光子を組み合わせたアッテネータなどの応用展開が可能であることを実証した。

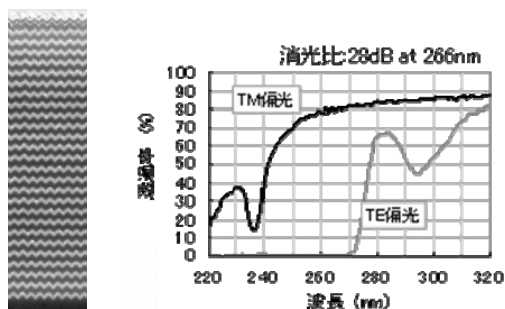


図 2 深紫外用フォトニック結晶偏光子の透過特性

(2) 偏光イメージングセンサー

フォトニック結晶偏光子では偏光軸方位の異なる領域を 1 枚の基板上に集積化することが可能である。これらを偏光子アレイと呼び、その応用デバイスの一つが偏光イメージングカメラである。本カメラの構成を図 3(a)に示す。キーコンポーネントである偏光イメージングセンサは、約 $5\mu\text{m}$ 角で 100 万個の領域分割された偏光子アレイを、受像素子である CCD センサーに直接貼合わせることで構成される。それをカメラに搭載し、PC にてデータ処理を行う。これにより従来は困難であった偏光の 2 次元情報を瞬時に画像化して表示することが可能となる。偏光情報には、物体の形状や、透明体の歪みなど多くの情報が含まれており、それらを利用することで、製品検査や交通監視 (ITS) やセキュリティなど様々な産業分野で有用である。

応用の一つが透明体の歪み計測である。図 3(b)は円偏光光源の前方にあるプラスチックケースを撮影したもので

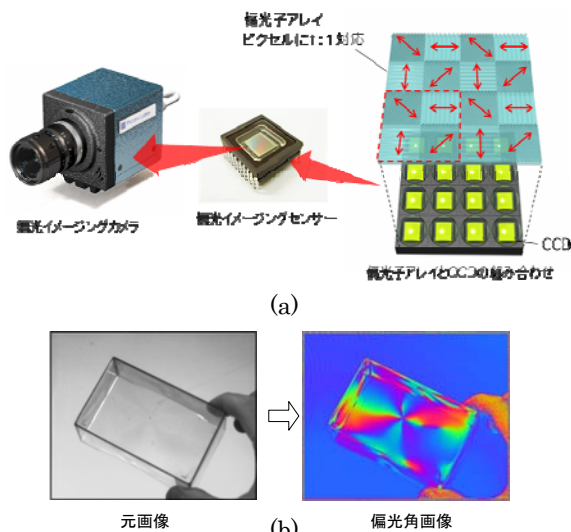


図 3 (a)偏光イメージングカメラの構成と
(b)透明体歪み計測の一例

ある。射出成形する際に発生した歪みにより複屈折が生じ、偏光が変化していることがわかる。本カメラでは、これらの複屈折率と歪み方向を瞬時に定量化できることが特長である。本カメラを用いた計測機が製品展開されており、樹脂で成形したレンズの検査や、液晶パネル用のガラス基板やフィルムなど、多くの分野にて適用されつつある。

(3) フォトニック結晶アレイの新規応用デバイス

フォトニック結晶アレイ化技術の開発を進める中で着想した新規デバイスとして、スペクトル情報のイメージング技術がある。波長フィルタアレイと CCD センサーを組み合わせることで、動脈/静脈の識別やヘモグロビン濃度の可視化など医療に必要な情報をイメージングすることのできるデバイスである。その他、偏光イメージングカメラと微分干渉顕微鏡とを組み合わせた 3 次元形状計測技術や、軸対称偏光ビーム生成など多岐にわたり、いずれも本プロジェクトにて有効な実証結果が得られた。

3. むすび

本プロジェクトで開発したフォトニック結晶技術は、情報通信を支えるデバイス技術の革新に繋がるものである。例えば、偏光計測技術は様々な製品検査や薄膜検査に用いられるものであるし、UV 偏光子は LSI の検査・製造技術に用いられるものである。産業的にも有益でインパクトの大きい技術開発であり、プロジェクト終了後の市場展開を加速していきたい。

【誌上発表リスト】

- [1] 川上彰二郎、川嶋貴之、井上喜彦、本間洋、佐藤尚、太田晋一、長嶋聖、青木孝文、“フォトニック結晶偏光子を用いた偏光イメージングカメラの開発、” 電子情報通信学会論文誌 C、vol. J90-C、no. 1、pp.17-24、2007 年 1 月
- [2] 川上彰二郎、“積層型フォトニック結晶の産業的諸応用、” 応用物理、vol. 77、no. 5、pp. 508-514、2008.
- [3] 川嶋貴之、井上喜彦、佐藤尚、川上彰二郎、“可視光用フォトニック結晶偏光子の開発、” 第 52 回応用物理学関係連合講演会、29p-YV-11、2005 年 3 月

【申請特許リスト】

- [1] 川上彰二郎他、「インライン計測型の偏光解析装置」、日本、2005 年 7 月 26 日出願
- [2] 佐藤 尚 他、「偏光イメージング装置」、日本、2005 年 8 月 23 日出願
- [3] 川上他、「偏光イメージング装置、及び微分干渉顕微鏡」、日本、2007 年 2 月出願

【受賞リスト】

- [1] 佐々木良裕、佐藤尚、橋本直樹、川上彰二郎、電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ レター論文賞、“フォトニック結晶を用いた並列処理型エリプソメータ”、2005 年 9 月

【報道発表リスト】

- [1] 河北新報：2005 年 2 月 16 日
- [2] 「偏光イメージングカメラ開発」 河北新報：2007 年 4 月 12 日
- [3] 「カメラ 物体正確に識別」 朝日新聞：2007 年 4 月 19 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.upstream-lab.com/>