

ワイヤグリッド偏光子付きマルチコア光ファイバを用いた超小型・高分解能ロータリエンコーダ

岡谷 泰 佑*

Ultra-compact, High-resolution Rotary Encoders Using Multicore Optical Fibers with Wire Grid Polarizers

Taiyu OKATANI*

We propose a rotary encoder in which wire grid polarizers are formed on the end face of an optical fiber with multiple cores. The rotation angle is determined from the polarization angle of the light reflected from the rotating polarizer. In this study, we designed and fabricated a wire grid polarizer that matched the core arrangement. The Al wires constituting the wire grid polarizer were formed by electron beam lithography and a lift-off process. Transmittance measurement results of the fabricated wire grid polarizer showed characteristics as a polarizer and agreed with calculation results from rigorous coupled-wave analysis.

1. 目的・背景

本研究では、マルチコア光ファイバ端面に形成したワイヤグリッド偏光子と回転偏光子を用いて、偏光角から回転角を求める偏光式ロータリエンコーダの実現を目的とする(図1)。マルチコア光ファイバの分岐端には光源とフォトダイオードが接続される。中央のコアから入射した光は非偏光であるが、回転偏光子で反射した光は偏光となる。その直線偏光角、すなわち回転偏光子の角度は、4方向のワイヤグリッド偏光子を通してフォトダイオードで測定した光強度から求められる。偏光角というスケールによらない物理量を検出対象とするため、高分解能を維持したまま小型化が可能である。また、構成部品は光学素子のみで、信号伝送にも光ファイバを用いるため、非電化かつ長距離伝送が可能である。

ロータリエンコーダは回転角検出に用いられるセンサであり、半導体製造、工作機械、ロボット等の分野で小型化・高精度化の需要が拡大している[1]。従来の光学式ロータリエンコーダでは、光源から発せられた光が回転するスリット板を通過することで変調され、それを受光素子で検出することで回転角を算出する。分解能はスリットの数によって決まるため、スリット板を小型化すると配置可能なスリット数が減少し、分解能が低下するという問題がある。分解能を維持したまま小型化が可能なロータリエンコーダとして、偏光式ロータリエンコーダがある[2]。偏光式ロータリエンコーダは回転偏光子と受光素子、及びその前に配置された45°ずつ偏光軸が異なる4つの偏光子から構成される。回転偏光子と4方向の偏光子を通過した後の光の強度から、回転偏光子の角度を算出することができる。偏光角は回転偏光子の大きさによらないため、分解能を維持したまま小型化可能である。偏光式ロータリエンコーダとしては光源と受光素子が回転偏光子を挟んで向かい合う透過型が提案されているが、光源と受光素子を同一平面上に位置させる反射型にすることでより小型化することが可能となる。また、従来のロータリエンコーダは信号伝送に電線を用いており、ノイズや放射線の影響が問題となる場合がある。ロータリエンコーダ本体の外部に光源と受光素子を設置し光ファイバによって信号伝送を行うことで、ノイズや周囲環境の影響を受けないロータリエンコーダが報告されている[3]。

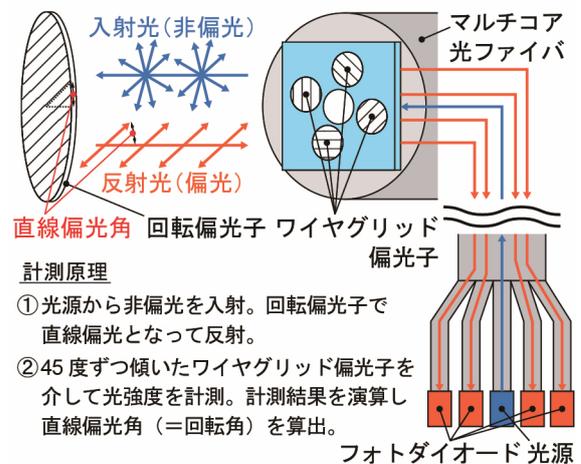


図1 光ファイバ偏光式ロータリエンコーダの概念図。

2. 方法

マルチコア光ファイバ端面のコア配置に合わせてワイヤグリッド偏光子を形成したチップを作製し、それをマルチコア光ファイバに接合する。ワイヤグリッド偏光子はサブ波長周期で並ぶ金属ワイヤで構成される。ワイヤに対して垂直な電場を持つ偏光 (TM 偏光) は透過し、ワイヤに対して平行な電場を持つ偏光 (TE 偏光) は反射する。マルチコア光ファイバとして、7本の光ファイバを束ねた光ファイババンドル (BF74LS01, Thorlabs) を用いた。バンドル端面には直径 1300 μm の円の中に直径 400 μm のコアが7つ配置されている。中央のコアには光源を接続し、ワイヤグリッド偏光子はその周囲にある4つのコアに配置する。

ワイヤグリッド偏光子付きチップの基板には 20 mm 角、厚さ 500 μm のガラス基板を用いた。まず、基板の上に電子線レジスト (ZEP520A, 日本ゼオン) を 2500 rpm でスピコートし、180 $^{\circ}\text{C}$ のホットプレートで 180 秒間バークした。その上にチャージアップ防止剤 (エスペイサー-300Z, レゾナック) を 2000 rpm でスピコートした。電子線描画を行った後、まずサンプルを純水でリンスしてチャージアップ防止剤を除去し、次に現像液 (ZED-N50, 日本ゼオン) 及びリンス液 (ZMD-B, 日本ゼオン) にそれぞれ 23 $^{\circ}\text{C}$ で 90 秒間浸してレジストパターンを得た。その後、イオンビームスパッタ装置 (EIS-220P, エリオニクス) を用いて Al を成膜し、50 $^{\circ}\text{C}$ のジメチルスルホキシド中で 15 分間超音波洗浄を行うリフトオフプロセスにより Al からなるワイヤグリッド偏光子を得た。

3. 結果・考察

製作したワイヤグリッド偏光子を図 4 に示す。光ファイババンドルのコア配置に合わせて 0 $^{\circ}$ 、45 $^{\circ}$ 、90 $^{\circ}$ 、135 $^{\circ}$ 方向のワイヤグリッド偏光子が形成された。Al ワイヤの線幅を SEM 観察により測定した結果、137 nm であった。Al ワイヤの高さを原子間力顕微鏡により測定した結果、45 nm であった。

製作したワイヤグリッド偏光子の透過率を顕微分光装置により測定した。測定結果、及び厳密結合波解析によるシミュレーション結果を図 3 に示す。赤色実線は TM 偏光透過率の測定結果、青色実線は TE 偏光透過率の測定結果、赤色点線は TM 偏光透過率の計算結果、青色点線は TE 偏光透過率の計算結果を示している。計算に使用した Al ワイヤの線幅及び高さは製作したワイヤグリッド偏光子の測定値と同じくそれぞれ、周期は 137 nm 及び 45 nm、周期は 230 nm とした。測定結果を見ると、波長約 400 nm 以上の領域で TM 偏光透過率が TE 偏光透過率を上回っており、製作したワイヤグリッド偏光子が偏光子として機能していることが確認できた。測定結果は計算結果とほぼ一致しており、理論的に実験結果の妥当性を裏付けることができた。

4. 結論

マルチコア光ファイバを用いた偏光式ロータリエンコーダの実現に向けて、バンドルファイバ端面のコア配置に合わせてワイヤグリッド偏光子を作製した。電子線リソグラフィとリフトオフプロセスにより、ガラス基板の上に設計した4方向のワイヤグリッド偏光子を製作することに成功した。製作したワイヤグリッド偏光子は約 400 nm 以上の波長帯で偏光子として機能することを確認した。今後は、製作したワイヤグリッド偏光子のチップ化、光ファイババンドル端面への接合、回転偏光子等の周囲部品のアセンブリにより、ロータリエンコーダを試作することを目指す。

REFERENCES

- 1) 高 偉, 精密工学会誌, **82** (2016) 773-777.
- 2) 古川秀樹, 小口寿明, 高橋邦彦, 高橋隆一, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2017) 507-508.
- 3) 株式会社雄島試作研究所, 計測と制御, **54** (2015) 777.

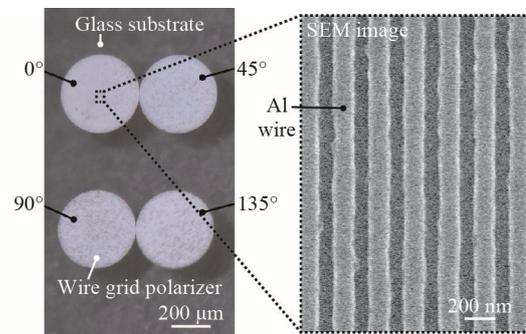


図2 作製したワイヤグリッド偏光子。

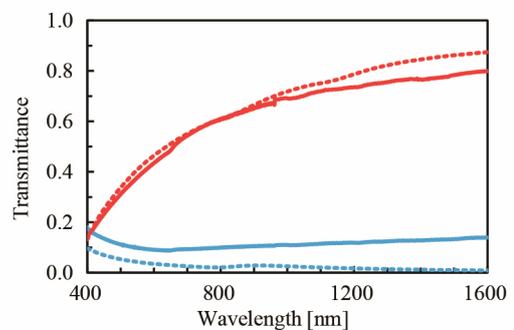


図3 透過率の測定結果及び計算結果。