

White Paper : ナノインプリントリソグラフィを用いたワイヤグリッド偏光子

1. Executive Summary

Nanoimprint 技術は、ガラスや樹脂など広範な基板材料表面に 10nm レベルのパターンを安価に形成できるリソグラフィ技術として着目されていますが、近年、モバイル機器、ディスプレイ、自動運転、ロボティクス、セキュリティー、AR（拡張現実）など特に高い耐環境性能を要求されるナノフォトニクス光学デバイスを製造するための必須技術となっております。ここで取り上げるワイヤグリッド偏光子は、透明基板上に形成された数 10nm の金属のライン&スペースパターンで構成される無機材料の偏光板で、以下にその特徴的な光学性能と応用について説明します。

2. Introduction

ワイヤグリッド偏光子は、Fig. 1 a に示すように平行な金属ワイヤに入射した電磁波のうち金属ワイヤに垂直な電界を有する電磁波（TM 波）に対しては透明体として働き電磁波を透過し、一方ワイヤに平行な電界を持つ電磁波（TE 波）に対しては金属として働き、これを反射するという原理を用いたもので、波長の長い無線波においてはすでに 100 年前から知られているものです。このような電磁波に対する選択的偏波透過は、金属ワイヤの間隔が電磁波の波長の 1/2 以下で回折の影響が無視できるようになる条件で起きる現象で、光で同様の現象である偏光子を実現するには微細加工技術の出現を待つ必要がありました。微細化技術の進展とともに赤外線、続いて可視光の偏光子が実現され、現在、Fig. 1 b に示すようなナノインプリントで加工された 100nm ピッチの Al のパターンは 300 nm の紫外線においても機能する高性能のワイヤグリッド偏光子を実現しています。

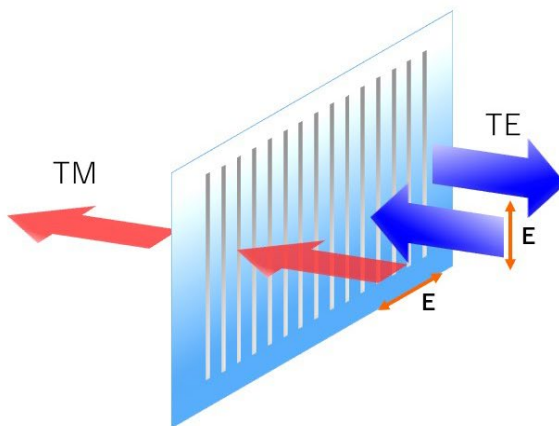


Fig.1 a Concept of wiregrid polarizer

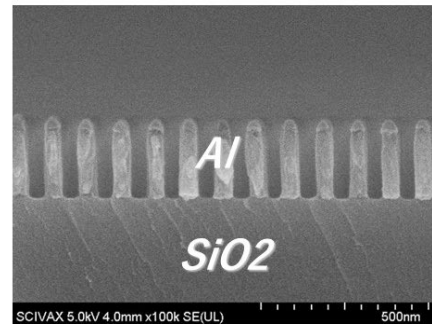


Fig.1 b Cross sectional SEM view of Al wire grid

Fig. 2 はワイヤグリッド偏光子の工程を示します。Al パターン上にナノインプリントを用いて数 10 nm のライン&スペースを有する樹脂パターンを形成し、これをマスクにしてドライエッチングにより Al を加工しワイヤグリッド偏光子を製造します。

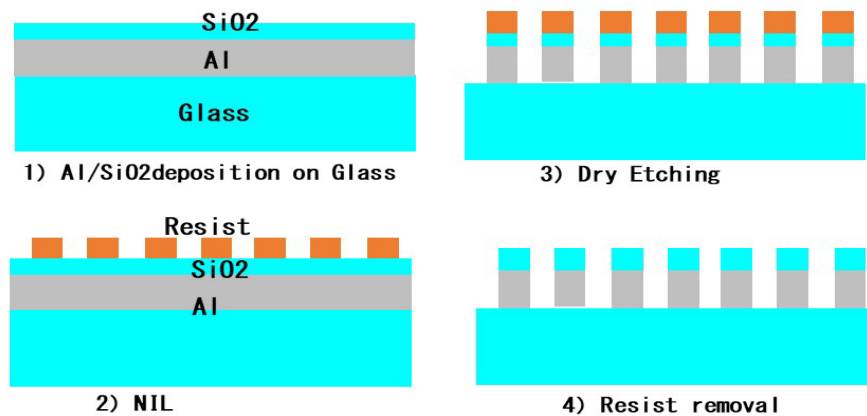


Fig. 2 Process flow

ワイヤグリッド偏光子は、以下のような特徴があります。

- (1) 紫外線から遠い赤外線までの広い波長範囲で偏光子として機能する。
 - (2) 偏光特性は入射角度の影響が小さく、大きな角度で入射した光に対しても偏光子としての機能を維持できる。
 - (3) 無機材料からなり、温度や湿度に対する高い環境耐性を有する。
- 以上の特長から、樹脂やプリズム型偏光子が使用できない広い応用範囲で利用されています。

ワイヤグリッド偏光子はどう応用されているか、
Fig. 3に応用例の幾つかを示します。

- a) ビームスプリッター ワイヤグリッドは高い耐熱性を持つ反射型の偏光子であることからプロジェクターやヘッドアップディスプレイ、AR グラスの偏光ビームスプリッターに使用されています。
- b) 受光センサー用マルチ方向偏光子 フォトダイオードと組み合わせたセンサーも今後の有力な応用分野と考えられます。カメラの画素ごとに方向の異なるワイヤグリッド偏光子を配置した偏光カメラは被写体のテキストや透明体の応力分布などを計測する工業用カメラに使用され、また複数のフォトダイオードに方向の異なるワイヤグリッドを配置した受光センサーは、環境センサーやエンコーダ、およびコヒーレント通信など新しい応用分野の開発が進んでいます。
- c) また液晶ディスプレイ製造において液晶分子の配向を整えるために紫外線領域の強い偏光を下地樹脂に照射して樹脂の分子を配向させる工程でも、紫外線用のワイヤグリッド偏光子が使用されています。

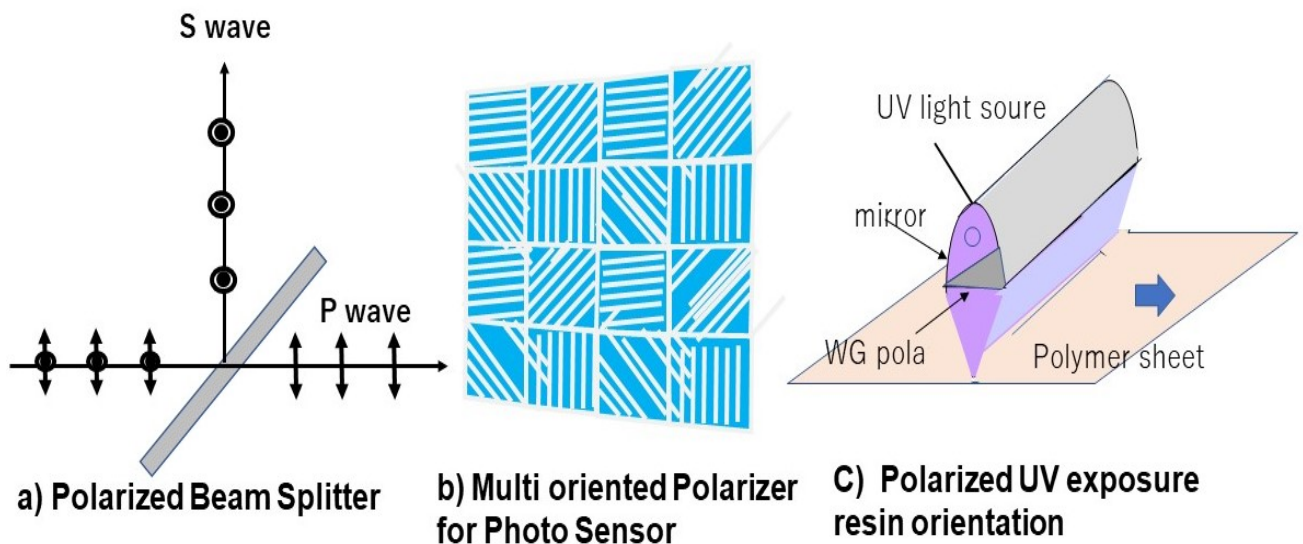


Fig.3 Application of Wire grid polarizer

3. Thesis Questions

ワイヤグリッド偏光子は、広い分野に応用されるため、以下のように製品ごとに様々な光学性能や環境耐性が要求されます。

(視野角)：ワイヤグリッド偏光子は方位角度 0° 及び 90° においては広い入射角度に対し特性を維持しますが、方位角 45° の方向からの入射光に対しては、消光比が大きく低下して視野角が狭くなるのが問題になることがあります。

(反射のコントラスト)：偏光ビームスプリッタにおいては、透過光の偏光コントラストと同時に反射光のコントラストも要求される製品もあります。

(局所形成、マルチアングル形成)：偏光カメラや受光センサーに搭載する場合は、デバイスウエハへの局所的なワイヤグリッドの形成や複数の方位を持つワイヤグリッドを形成する必要があります。

(表面保護)：接触に弱いワイヤグリッド表面の保護が必要とされるケースもあります。

3. Solutions

SCIVAX では標準的な光学性能を持つ3種類のワイヤグリッド偏光子（可視光透過用、可視光ビームスプリッタ、広波長範囲）をカタログ品として提供する他に、お客様の製品の仕様に合わせた高性能カスタム品の設計製造にも対応します。

要求性能を満たすためのワイヤグリッドの構造設計は電磁界シミュレーション（RCWA法）を用いて行われ、A1ワイヤのピッチ、幅、高さなどを最適化し透過率、反射率やコントラストを所望の性能に合わせます。

Fig 4は、視野角依存性を改善するために、大きい視野角における偏光軸のずれを補正したです。クロスニコル配置での光の漏れ特性において、標準的な構造の(a)に対し補正した構造(b)では方位角の変化に対する漏れ光の増加はなく消光比の劣化が起きていないことがわかります。

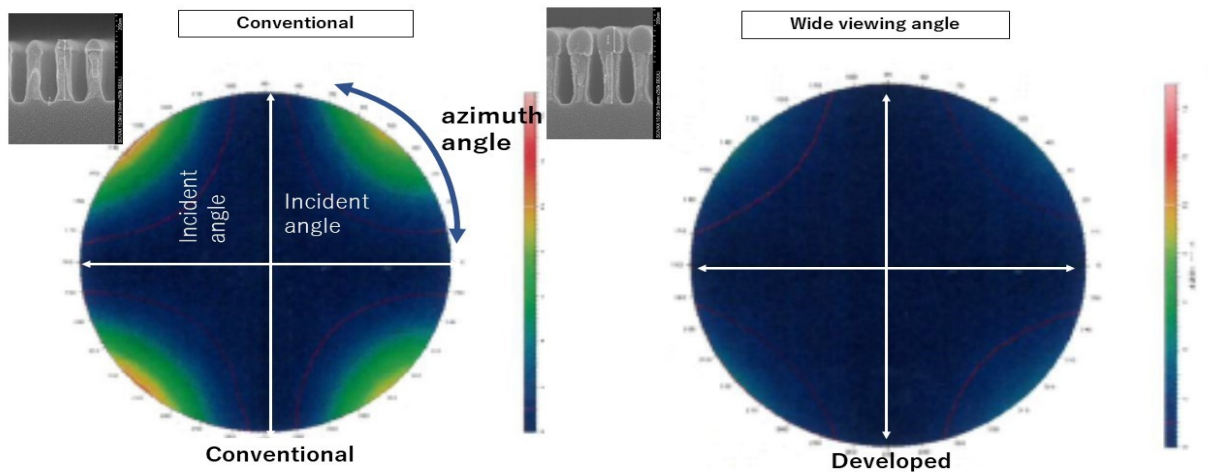


Fig. 4 Incident Angle Dependence of Wire Grid Leakage in Cross-Nicol Configuration

Fig.5は機械的強度の改善のためワイヤグリッドの表面をSiO₂膜でコートした例です。750g加重鉛筆硬度試験で3H相当と十分な強度が得られることを確認しています。

Fig.6はフォトダイオード上にFig.3b)に示すようなワイヤグリッド偏光子を局部的に形成するプロセスの例を示します。このように下地デバイスが形成されたシリコンウエハ上に形成する技術により新しい機能を持った受光センサーの実現できます。

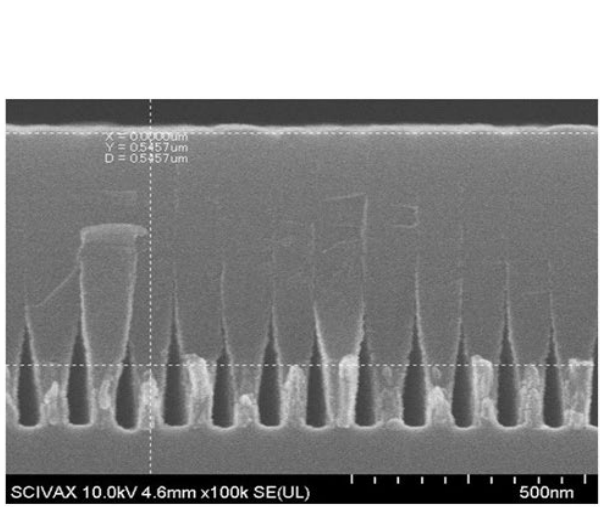


Fig. 5 SiO₂ Coated wire grid

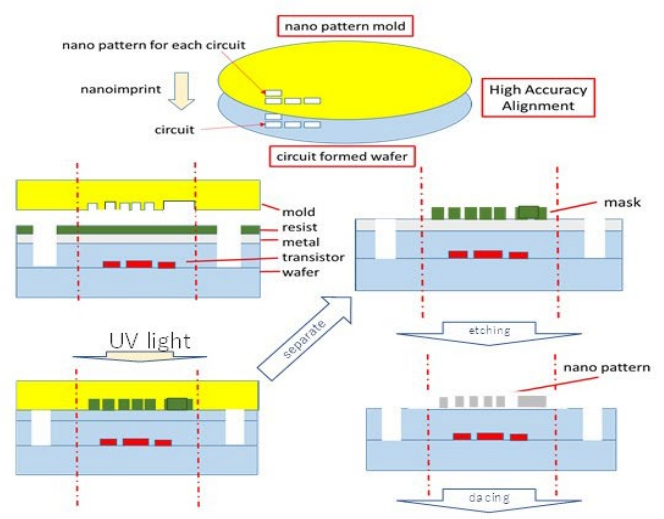


Fig.6 Wire-grid polarizers integrated into Si photosensors

4. Products Info

Table 1に SCIVAX のカタログ標準品の仕様を示します。上述のようにカタログ品の他に、カスタム品として使用波長域、透過率、反射率、消光比、入射角度、視野角、局所形成、マルチアングル等の仕様についてご要望に応じて設計製造をいたします。

Table 1 Polarizer Specifications for Catalog Products

1: Performance Specification

| | MRLS 1 Visible WGP | MRLS 2 Beam splitter WGP | MRLS 3 Wide wave length range WGP |
|--------------------------|---|---|--|
| Wave length range | 420nm to 700nm | 420nm to 700nm | 300nm to 2500nm |
| Transmittance (Tp) | 83%(450nm) 85%(550nm) 85%(650nm) | 83%(450nm) 85%(550nm) 85%(650nm) | 83%(450nm) 85%(550nm) 85%(650nm) 90%(2500nm) |
| Extinction ratio (Tp/Ts) | 200:1 (450nm) 300:1 (550nm) 500:1 (650nm) | 200:1 (450nm) 300:1 (550nm) 500:1 (650nm) | 200:1 (450nm) 300:1 (550nm) 500:1 (650nm) 1000:1 (2500nm) |
| Reflectance (Rs) | - | 75% | - |
| Extinction ratio (Rs/Rp) | - | 30 | - |
| Angle of Incidence | 0 ± 20° | 45 ± 15° | 0 ± 20° |

2. Substrate Characteristics

| | MRLS 1 Visible WGP | MRLS 2 Beam splitter WGP | MRLS 3 Wide wave length range WGP |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Substrate Type | Alkaline Free glass | Alkaline Free glass | Fused Silica |
| Thickness | 0.725mm | 0.725mm | 0.725mm |
| Index of Refraction | 480nm 1.5160 643.8nm 1.5078 | 480nm 1.5160 643.8nm 1.5078 | 486.1nm 1.4633 656.3nm 1.4565 |
| Thermal Expansion | 31.7E-7 /°C (0-300°C) | 31.7E-7 /°C (0-300°C) | 5.5E-7 /°C (0-300°C) |

3: Others

| | | | |
|----------------|--------------|--------------|-------------|
| Edge Exclusion | 2mm (25mm□) | 2mm(25mm□) | 2mm (25mm□) |
| TA Tolerance | ± 1° | ± 1° | ± 1° |
| Coating | Back side AR | Back side AR | - |

5. Conclusion

以上のように、Nanoimprint 技術で製造したワイヤグリッド偏光子は、広範な製品に採用され今後さらに応用市場が広がる光学部品であることが認識されてきており、SCIVAX では、自社開発の最適な装置、材料、プロセスにより設計、開発、量産のための Foundry Service サービスを提供します。