

入射角依存性を低減した水晶波長板

1. はじめに

波長板は、光を 90° 回転させた直線偏光や、円偏光に変換する光学素子として、プロジェクターなどの偏光制御が必要な光学機器に使用されている。これまで波長板の材料として安価な樹脂製のものが多く使用されているが、プロジェクターなどでは近年の輝度上昇、耐久性向上のニーズにより、耐熱性、耐光性に優れた無機材料の波長板への置き換えが進んでいる。無機材料の波長板としては、主に水晶が使われ、結晶軸（光軸）が直交するように貼り合わせたコンパウンドゼロオーダー波長板が使用されている。しかし、水晶基板の厚みを数百 μm と厚くしているため、位相差の入射角依存性が大きくなるという欠点がある。

この波長板では入射する光が完全な平行ではなく、拡がりを持っている場合に、光の利用効率が低下し、プロジェクターの輝度が下がってしまうことが課題である。そこで、波長板の材料を変更または組み合わせることで、位相差の入射角依存性を低減した水晶波長板を開発したので報告する。

2. 入射角依存性を低減した水晶波長板の構成

波長板は、常光と異常光の屈折率差を利用し、光の偏光を制御する。通常、2枚の水晶板の光軸は基板面に平行とし、光路は基板面に垂直に入射することを想定して設計している。基板面に対する光の入射角が変わると、常光と異常光の屈折率差が変化し、位相差のずれが生じる。常光と異常光の屈折率差は光軸方向が最も大きく変化し、光軸直交方向では屈折率は変化しない。

入射角依存性を低減させるために2種類の構成について設計を実施した。入射角依存性が大きいコンパウンドゼロオーダー波長板の模式図を図1(a)に示す。コンパウンドゼロオーダー波長板は正の一軸性結晶である水晶2枚で構成されており、厚み数百 μm で光軸が直交される構成となっている。この波長板の構成では、図1(b)のように入射光が拡散され基板面に斜めになると、屈折率差の変化が生じるため、出射光が想定外の楕円偏光となる。この問題を解決するため、図2に入射角依存性を低減させた波長板の構成の模式図を示す。構成1では、水晶とサファイア基板の2枚構成となる。

サファイアは、負の一軸性結晶であり、正の一軸性結晶である水晶と貼り合わせることで、異常光と常光の屈折率差を双方の基板で打ち消しあうことができる構造となる。構成2では、コンパウンドゼロオーダー波長板の構成に光軸を基板面に垂直としたZカット板を1枚追加し、3枚の構成とした。Zカット板は、基板面に垂直に入射したときは常光と異常光の屈折率差がないが、入射角が変わると、2枚の水晶板の屈折率変化に対して位相差変化の影響を小さくする方向に屈折率が変化するため、2枚の水晶板の屈折率変化を打ち消すことができる構造となる。

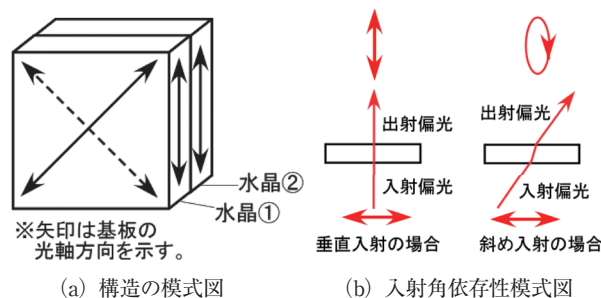


図1 コンパウンドゼロオーダー波長板模式図

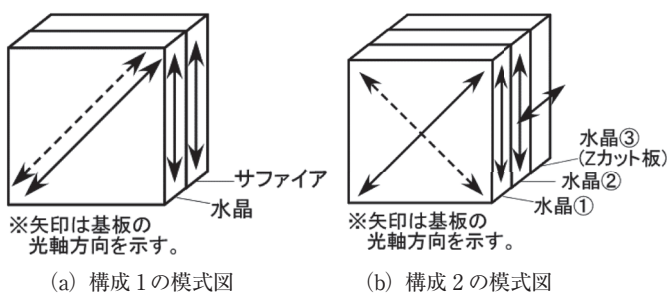


図2 入射角依存性を低減した波長板の模式図

3. 開発した波長板の特性と仕様

従来の構成であるコンパウンドゼロオーダー波長板の位相差特性シミュレーション結果を図3に示す。基板面に光が垂直入射する場合を入射角 0° とし、光軸方向から入射角 10° で入射した場合を示した。水晶基板の厚み $330 \mu\text{m}$ (波長 550 nm のとき位相差 1980°) と $300 \mu\text{m}$ (波長 550 nm のとき位相差 1800°) を貼り合わせ、波長 550 nm で位相差 180° ($\lambda/2$ 波長板設計) となる構成の場合、入射角が 10° ずれると位相差が $\pm 24^\circ$ 変化することがわかる。今回設計した構成1の水晶と

製品・技術紹介

サファイアを用いた波長板の位相特性シミュレーション結果を図4に示す。水晶厚み284 μm (波長550 nm のとき位相差1710°)とサファイア厚み358 μm (波長550 nm のとき位相差1890°)を貼り合わせ、波長550 nm で180°となる構成の場合、波長550 nm で同様に比較すると、位相差が $\pm 1.6^\circ$ しか変化しないことがわかる。今回設計した構成2のZカット板を用いた波長板の位相特性シミュレーション結果を図5に示す。水晶基板の厚み330 μm と300 μm の $\lambda/2$ 波長板に厚み312 μm のZカット板を貼り合わせ、波長550 nm で180°となる構成の場合、波長550 nm で同様に比較すると、位相差は $\pm 0.2^\circ$ しか変化せず、構成1よりも位相差変化が小さいことがわかる。図3～図5の位相特性シミュレーション結果における波長550 nmでの位相差の値を表1に一覧とした。

構成1と構成2を比較すると構成2のほうが、位相差変化が小さい結果となっているのは、両者の補正原理の違いによるものである。構成1では入射角依存性は水晶とサファイアの厚み、構成2ではコンパウンドゼロオーダー波長板の厚みとZカット板の厚み比によって決まる。構成2ではコンパウンドゼロオーダー波長板とZカット板の厚み比を最適値にすることで、入射角による位相差変化をゼロで設計することが可能である。

なお、構成1は $\lambda/2$ 波長板と $\lambda/4$ 波長板に適用可能であるが、構成2は $\lambda/2$ 波長板のみで、 $\lambda/4$ 波長板には適用できないという点で注意が必要である。これは補正のために貼り合わせたZカット板の水晶に旋光性があるためである。

2項で説明した原理は水晶、サファイア以外の材料においても適用可能であるが、材料の屈折率、加工性、入手性の観点を考慮して、水晶、サファイアの2種の材料でのラインナップとしている。

4. おわりに

光学製品の高性能化に伴い、波長板などの光学部品に対する要求も高まってきており、本設計製品が各種光学製品に採用されるように拡販を進めていきたい。接着剤の種類、接着構造の検討による高輝度、高耐熱性への対応、広帯域、特定波長の波長板の設計などへの対応を進め、さらなる波長板の高機能化に取り組んでいきたい。

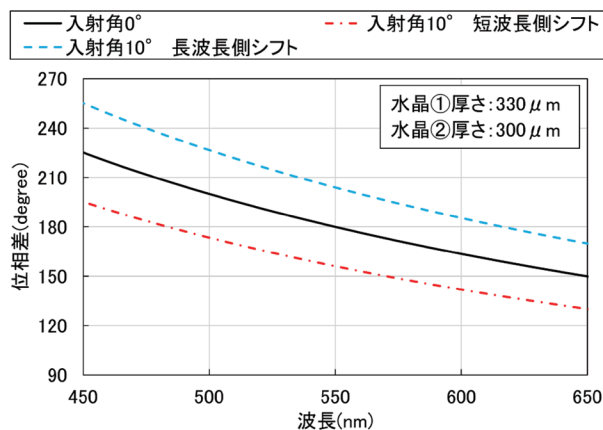


図3 従来構成の位相特性シミュレーション結果

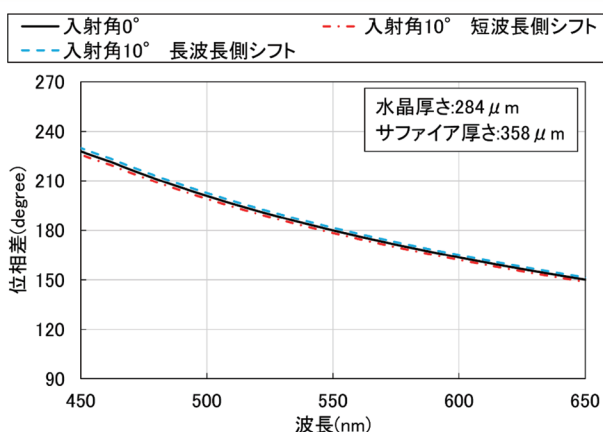


図4 構成1の位相特性シミュレーション結果

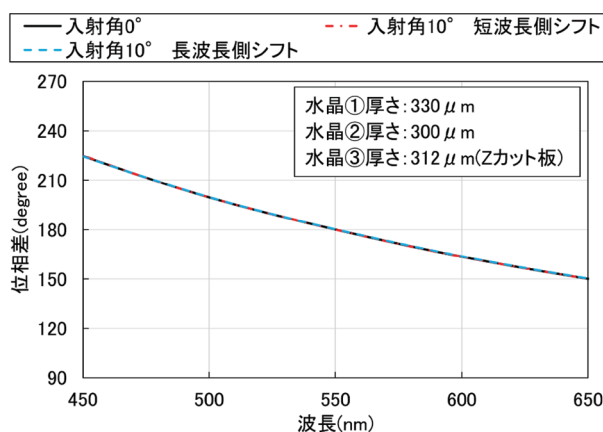


図5 構成2の位相特性シミュレーション結果

表1 従来品と開発品の入射角依存性の比較

構成	入射角 0°	単位:degree	
		入射角 10°	
		短波長側シフト	長波長側シフト
従来構成	180.0	156.1	203.9
構成1	180.0	178.4	181.6
構成2	180.0	180.0	180.2

※ λ :550nm、入射角0° $\pm 10^\circ$ の場合