

前回は、サブ波長格子 (SWS: subwavelength structure) を用いた反射防止構造について紹介した。今回は、SWS を用いたプレート型偏光ビームスプリッターについて述べる。偏光ビームスプリッターといっても光学仕様が多種多様であるが、ここでは、市販品のキューブ型偏光ビームスプリッターに置き換わる構造体を例にあげる。従来市販されているキューブ型偏光ビームスプリッターは、図1のように2個の直角プリズムにより構成され、片方の直角プリズム斜面に誘電体多層膜を蒸着し各々のプリズムを接合し、s 偏光を反射し p 偏光を透過させる。これに対して SWS を用いたプレート型偏光ビームスプリッターは、図2に示すように波長より短い周期が一次元に配置されている。回折格子に光が入射する問題を考えたとき、格子の溝に対して垂直に振動する方向を TE 偏光 (s 偏光) と呼び、平行に振動する方向を TM 偏光 (p 偏光) と呼ぶ。回折格子が波長 λ に対し、入射角度 θ_0 、周期 Λ を用いて次式の条件が満たされたとき、

$$\Lambda \cos \theta_0 < \lambda \quad (1)$$

その回折格子構造は、光にとって有効屈折率 n_{eff} で表される薄膜構造内を進行しているように認識される。このとき有効屈折率 n_{eff} は、入射光の偏光方向によって異なり、第1次近似では次式で書き表される。

$$\text{TE 偏光: } n_{\text{TE}} = \sqrt{(1-f)n_1^2 + fn_2^2} \quad (2)$$

$$\text{TM 偏光: } n_{\text{TM}} = \sqrt{\frac{n_1^2 n_2^2}{fn_1^2 + (1-f)n_2^2}} \quad (3)$$

ここで、 n_1 、 n_2 はそれぞれ空気層と蒸着膜の屈

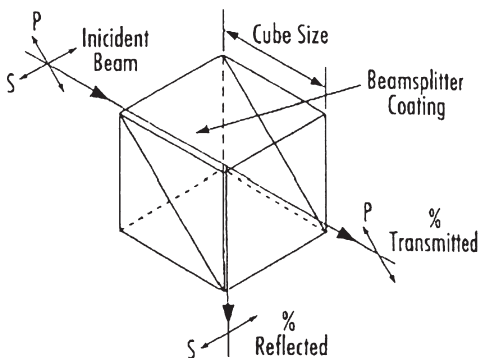


図1 キューブ型偏光ビームスプリッター。

折率を表し、 f は周期 Λ に対する図2における山側部分のデューティ比を示す。式(2)と式(3)から、 f が0, 1以外では、各々の偏光に対する有効屈折率の値が異なっていることがわかる。偏光状態による有効屈折率の違いの物理的意味は、光の波長よりもきわめて小さい構造体を光が通過する際、構造体は散乱などを生じさせる遮蔽物として捉えられ、遮蔽物を通過する際に、偏光状態に依存したエネルギー損失が生じ、その影響が有効屈折率として表れると考えられる。この条件下で各々の偏光成分における有効屈折率 $n_{\text{eff}} = n_{\text{TE}}$ または $n_{\text{eff}} = n_{\text{TM}}$ (ただし $n_{\text{TE}} \neq n_{\text{TM}}$) のいずれかが、異なる媒質を進行する光の屈折の関係式 (Snell の式)

$$n_1 \sin \theta_0 \geq n_{\text{eff}} \quad (4)$$

を満たすと、その偏光方向をもつ入射光は有効屈折率 n_{eff} のもつ薄膜層を通過できなくなる。この状態は、有効屈折率 n_{eff} のもつ薄膜層での屈折角度 θ_1 がほぼ 90° に達しており、 n_2 側への層に光が移動できない状態に相当し、入射したエネルギーの発散先として、反射光が生じることになる。以上、いずれか一方の偏光方向の光が格子構造から認識される有効屈折率 n_{eff} の効果によって式(4)が成立すると、微小周期による偏光素子が機能することになる。

図2はSWS格子構造偏光ビームスプリッターの

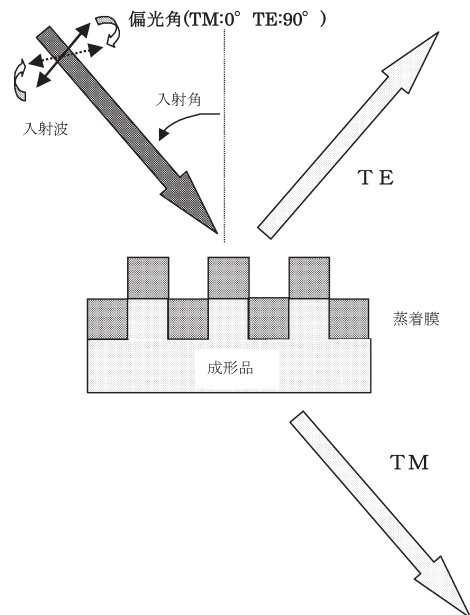


図2 SWS 格子構造。

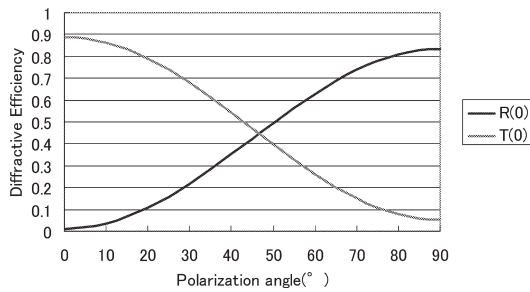


図3 偏光角度に対する効率データ。

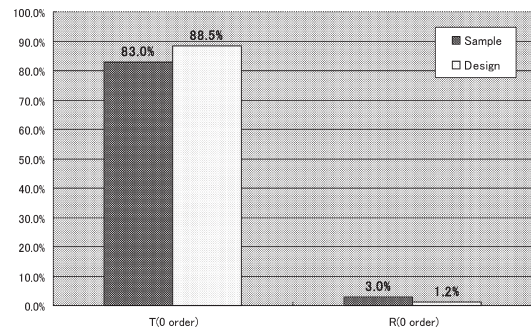


図6 TM 偏光の設計値と測定値。

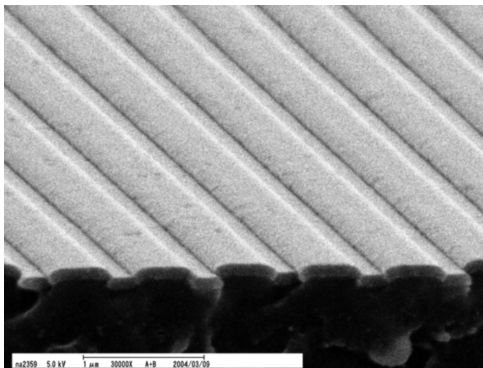


図4 製品の断面 SEM.

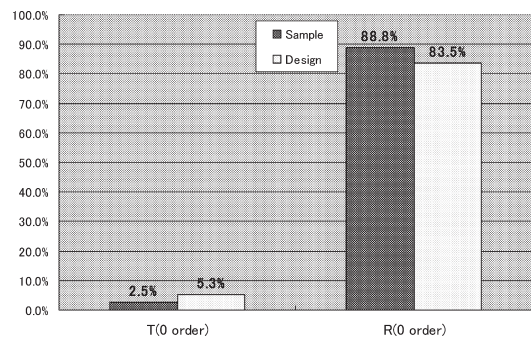


図7 TE 偏光の設計値と測定値。

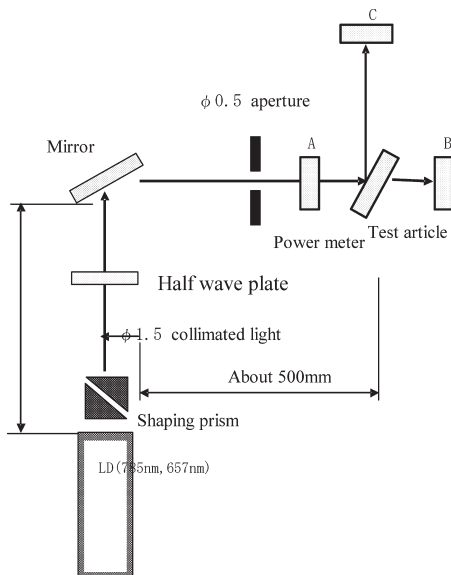


図5 測定器構成図。

構成図である。周期ピッチは波長が 650 nm 時に約 750 nm で樹脂高さ と蒸着膜高さを 100 nm, 入射角を 45° にすると, 図 3 のような特性が得られる。偏向角度が 90 度 (TE) のとき 83.5% の反射効率特性

があり, 0 度 (TM) のとき 88.5% の透過効率特性となる。図 4 は, 射出成形し蒸着された SWS 格子構造偏光ビームスプリッター断面の SEM 写真である。

図 5 は, SWS 格子構造偏光ビームスプリッターのサンプル評価のための実験系を示している。はじめに, 被検サンプルの前 (A) で光の入射パワーが測定される。TE 偏光の入射時は, 構成図どおりに配置し (B) の配置で光のパワーが測定される。TM 偏光の入射時は, 構成図の 1/2 波長板をはずして, (C) の配置で光のパワーを測定する。図 6 と図 7 は設計値と実験結果を比較したもので, よい一致を示している。

最後に, サブ波長の開発課題において (独) 科学技術振興機構 (JST) ならびに大阪府立大学の岩田名誉教授, 菊田助教授には大変お世話になりました。その結果, このように優れた最新の報告ができるレベルまで達することができました。謝辞を申し上げます。

(ナルックス(株) 岡田 真)