



## 斜め蒸着による薄膜位相板

元広 友美・多賀 康訓

(株)豊田中央研究所 〒480-11 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41-1

### 1. ま え が き

斜め蒸着膜が膜面に垂直に入射する光線に対し複屈折を示すことは古くから知られている<sup>1)</sup>。しかし 1/4 波長板等へ応用された例は少なく、いまだに、半透明鏡や干渉フィルター等に伍して光学薄膜としての市民権を得るには至っていないようである<sup>2)</sup>。その原因の一つは、斜め蒸着膜がその特有の傾斜した柱状組織のため充填率が低く容易に変質、とくに白濁しがちなためと考えられる。しかし光が直交する二つの偏光成分で記述される横波である以上、その特質に関して機能する複屈折薄膜や偏光薄膜は、当然、光学薄膜の一隅を占めるべきものである。

一方、従来の無機光学単結晶波長板はリターデーションの設定等製作コストが高く大面積化も困難であり、また延伸樹脂フィルム波長板は支持体への接着工程や熱・紫外線による劣化等の問題がある。これに比べ、斜め蒸着複屈折膜では膜厚、したがって蒸着時間によって任意にリターデーションの設定ができるほか、成膜=接着工程であり、他の光学薄膜との組合せも一貫したドライプロセスで行え、大面積化にも基本的な問題がない等メリットが多い。そこで白濁の問題をにらみつつ、大面積 (6 cm×25 cm) の薄膜 1/4 波長板の試作を試みたので概要を報告する<sup>3)</sup>。

### 2. 斜め蒸着膜の複屈折の特徴

斜め蒸着では、すでに堆積した蒸着粒子の陰への後から飛来する粒子の堆積が妨げられる自己遮蔽効果により、基板面法線から測って蒸着角  $\theta$  より浅い角  $\alpha$  で傾斜した柱状組織が成長する。この柱状組織は  $\theta$  や  $\alpha$  が乗っている「入射面」と平行な方向に粗に、垂直な方向に密に分布し、蒸着粒子の入射方向から見て光学的異方性媒質を形成している。このため基板に垂直に入射する光線に対しても屈折率楕円体の断面は楕円となり複屈折が生ずる<sup>4)</sup>。

図1に Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 蒸着膜の垂直入射光に対する複屈折

$\Delta n$  の  $\theta$  依存性を示す。最大の  $\Delta n$  は  $\theta=70^\circ$  付近に現れ、その絶対値は方解石の約半分にも達している。これは厚さ数  $\mu\text{m}$  で可視光領域の 1/4 波長板となる値である。類似の  $\theta$  依存性が多くの物質で見いだされる<sup>5)</sup>。図2は種々の酸化物について  $\theta=70^\circ$  の  $\Delta n$  を比較したものである。結晶の屈折率の大きい TiO<sub>2</sub> や異方性の MoO<sub>3</sub> が必ずしも大きな  $\Delta n$  を示さず、 $\Delta n$  はもっぱらその物質の構成原子の質量に依存している。これらの膜の多くはX線的に非晶質であり物質の個性はあまり反映されていない。

### 3. 白濁の抑止

斜め蒸着膜の白濁は、柱状組織に起因する光散乱が原因と考えられ、同じ柱状組織に起因する複屈折とは不可分の予測が当初あった。しかし白濁の程度を光透過時の散乱光量の指標である Haze 値で定量的に評価し、種々の成膜条件で作製した斜め蒸着膜の微細構造の FE-SEM 観察結果と照合した結果、複屈折は太さ $\geq 10$  nm 以下の柱状組織でも生ずるのに対し、白濁はそれらが太さ 100 nm 以上の束に凝着し、膜表面にも同程度の凹凸ができて初めて顕著になることがわかった。柱状組織の太さは成膜速度、成膜時真空度、基板温度等の成膜条件や蒸着材料により微妙に変化する。Haze 値が小さく (0.1 以下)、 $\Delta n$  の大きいことが膜材料選定の条件である。

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を多少の酸素雰囲気中で高速成膜すると Haze 値が 0.1 以下の無色透明な膜が得られる。ところがこの膜は成膜後数か月に渡って徐々に白濁が進行する。一方、酸素を導入せず高真空中で高速成膜すると Haze 値 0.1 以下の濃褐色の膜が得られる。このままではむろん使えないが、この膜は成膜後数十日に渡って脱色し最終的に無色透明な膜が得られる。このプロセスは熱処理により加速することもできる。このように材料のナノメーターオーダーでの構造制御がキーポイントである。

### 4. 複層化と大面積化

斜め蒸着膜の  $\Delta n$  の光線入射角依存性は、その構造が

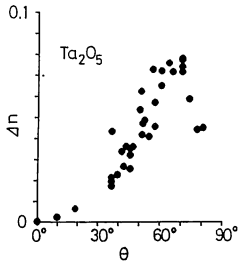


図1 種々の成膜条件で作製した Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 膜の複屈折 Δn と蒸着角 θ との関係

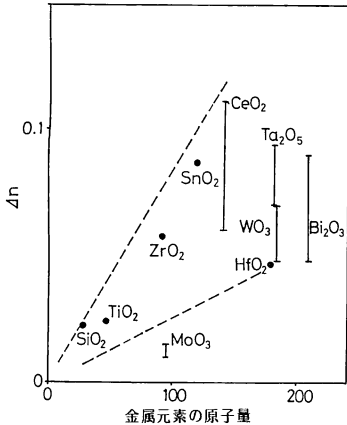


図2 蒸着角 70° で成膜した種々の酸化物の複屈折 Δn と構成金属元素の原子量の関係

らも明らかなように膜面法線に対して非対称である。これはディスプレイなど光線の入射方向が常に垂直とは限らない用途では不都合である。そこで蒸着を2回に分け反対の方位から行って複層化し、Δn の角度依存性を補償した。また、この複層化は膜厚分布によるリターデーションの不均一の解消にも有効で図3に示すように大面積の1/4波長板を可能にした。図4はこのように複層化した Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1/4 波長板の断面の SEM 像である。

### 5. 応 用

この複層化複屈折膜は薄膜位相板として広く応用が可能である。たとえばゲスト-ホスト型液晶セルに薄膜 1/4 波長板を蒸着し、さらに Al を蒸着して反射鏡とすれば、セルが偏光状態のとき、外光が往路セルで直線偏光に、薄膜 1/4 波長板で円偏光になった後 Al 蒸着膜で反射され、復路再び薄膜 1/4 波長板を通過して往路と直交する直線偏光になりセルの偏光性により遮断されるため、反射光は消光状態となる。図3程度の面積では目視ではほぼ均一な消光が得られる。電氣的にセルの偏光性は解消でき、反射型の光スイッチやディスプレイを作ることができる<sup>6)</sup>。

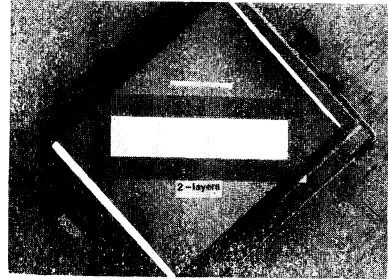


図3 直交する2枚の偏光フィルム間に挟んだ Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 複層斜め蒸着膜 1/4 波長板を背後から照明した場合の光透過状況 (白い棒はタバコ)

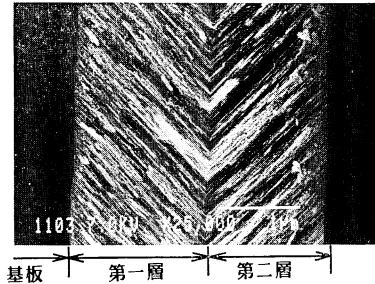


図4 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 複層斜め蒸着膜 1/4 波長板の断面の FE-SEM 像

### 6. む す び

ここで述べた薄膜位相板は、ガラス基板につけた状態で現状室温放置2年程度の経過であるが、とくに白濁等の劣化は見られていない。他の薄膜と積層した場合に界面反応による劣化の可能性はあるが、個々の場合に依じて中間層等で対処できると思われる。従来の光学薄膜はバルク物性を薄膜化して利用しているケースが多いが、本薄膜位相板は薄膜特有のナノメートルオーダーの内部構造による機能発現を利用している点で特徴的である。

### 文 献

- 1) E. Neugebauer and C.V. Fragstein: "Doppelbrechung schrag aufgedampfter Schichten," *Optik*, **29** (1968) 150-161.
- 2) 石黒浩三, 池田英生, 横田英嗣: 光学薄膜, 第2版, 藤原史郎編 (共立出版, 東京, 1986).
- 3) T. Motohiro and Y. Taga: "Thin film retardation plate by oblique deposition," *Appl. Opt.*, **28** (1989) 2466-2482.
- 4) I. J. Hodgkinson, F. Horowitz, H. A. Macleod, M. Sikkens and J. J. Wharton: "Measurement of the principal refractive indices of thin films deposited at oblique incidence," *J. Opt. Soc. Am. A*, **2** (1985) 1693-1697.
- 5) 森桐史雄: 特開昭 59-49508.
- 6) 浜口茂樹, 大塚康弘, 元広友美, 多賀康訓, 石井昌彦: 特開昭 63-132203.

(1989年10月31日受理)