

研究速報

超薄型光合分波器用フィルターチップの開発

関 口 利 貞

(株)コパル技術開発部 T174 東京都板橋区志村 2-16-20

(1990年10月17日受付, 1990年12月14日受理)

Development of Super Thin Filter Chips for Optical Multiplexer and Demultiplexer

Toshisada SEKIGUCHI

Department of Technical Development, Copal Co. Ltd.,
2-16-20, Shimura, Itabashi-ku, Tokyo 174

(Received October 17, 1990; Accepted December 14, 1990)

Ultra-thin and flat filter chip is developed for optical multiplexer and demultiplexer. The multilayer films are formed by ion-assisted deposition on the surface of glass substrate, and then removed from the substrate. Each layer of them needs to have same direction and nearly equal strength of internal stress. As a filter chip, the filter have high stability for optical property and its thickness is about 13 μm .

1. はじめに

光通信における波長多重伝送は異なる光信号を单一光ファイバーにより多重伝送するもので、同時双方向伝送や、異種信号の同時伝送（同時多チャンネル多重）が可能なため、多くの研究がなされている。波長多重通信に用いられる光合分波フィルターは伝送系の信頼性を確保するため、高い分波効率のほか、環境の湿度変化に対する光学特性の安定性（以下、耐候性という）の点で従来のものよりさらに高い性能が要求される。さらに、導波路型光合分波器に用いられるフィルターチップ¹⁾については光の拡散による信号光量の損失を防ぐため、数十 μm 程度の厚さにすることが要求される。

超薄型のフィルターチップを得る一般的な方法としては、誘電体多層膜フィルターを成膜した厚さ数 mm の基板を希望の厚さに研磨する方法が考えられる。また、通常の蒸着法においては、TiO₂ 膜（高屈折率で引張り応力）と SiO₂ 膜（低屈折率で圧縮応力）で誘電体多層膜フィルターを構成することにより、フィルター全体としては互いの応力を打ち消し合い、フィルターの反りを軽減することが可能である。

ここで、通常の蒸着法により得られた誘電体多層膜フィルターは、環境の湿度変化によりその光学特性が変化することが明らかとなり²⁾、伝送系の信頼性を低下させ

る要因となっていた。このことは薄膜の微細構造が隙間だらけの数十 μm の円柱状の構造になっており、湿度の変化によってこの隙間に吸着される水分量が変化するために光学特性も変化すると考えられている。そこで、充填密度を高くし、耐候性を向上する目的でイオンアシスト蒸着法等が研究されてきた^{3,4)}。

しかし、イオンアシスト蒸着法等により得られた緻密で耐候性の良好な誘電体膜は、ほとんどが圧縮応力を示し、これらの薄膜の積層により得られた多層膜フィルターは、互いの応力を打ち消し合はず、フィルターとしての反りが増強され、上記研磨方法では、基板が薄くなるに従って保持が困難となり、剥離したり、割れたりしてしまう。

そこで、フィルター内における薄膜の応力は膜相互に作用し、同方向で同量の応力であれば、フィルター膜として反りは生じないと考え、イオンビーム照射条件による誘電体薄膜の諸特性への影響について検討した。その結果に基づき、多層膜フィルターを成膜後に基板から剥離することによって、耐候性が良好で厚さ約 13 μm のフィルターチップを得ることができたので以下に報告する。

2. 実験

今回、イオンビーム照射条件による薄膜の諸特性への

影響を調べるために、3.5 cm Kaufman 型イオン銃を搭載した電子ビーム蒸着装置を用いた。イオン銃は 15° の角度で基板表面上に 750 eV の低エネルギー酸素イオンを供給する。イオン電流密度は Faraday cup により基板の位置にて測定した。残留ガスの圧力は 2×10^{-4} Pa で酸素イオンの生成中は 7×10^{-3} Pa となる。基板温度は 300°C、蒸発源からの距離は 400 mm である。成膜速度は水晶膜厚計、膜厚は光学膜厚計にて制御した。

光学特性の安定性については、小口ら⁵⁾の提案した方法を用いて評価した。すなわち、シリカルゲルとともに試料を密封して 48 時間放置後に分光特性を測定し、これを湿度 0% の基準とした。この後、シリカゲルを取り出し、 KNO_3 の過飽和水溶液とともに試料を密封し、48 時間放置後に再び分光特性を測定する。このときの湿度は 94% RH となる。この両者を比較し、波長方向の変化量により、光学特性の安定性を評価した。

膜の応力の測定については、平面度 $\lambda/10$ 以下、直径 $30\phi (=1)$ 、厚さ 2 mm ($=D_s$) の BK 7 基板上に種々の材料を $0.3 \mu\text{m} (=d_F)$ 成膜し、成膜前後の基板の反り量をレーザー干渉計にて測定した。

まず、薄膜の応力により、直径 1 の円盤状の基板が曲率半径 r の球面に反ったとし、このときの球の中心を 0、反り量を δ とする (Fig. 1)。ここで、基板の中心を通る弧 AB に対する弦 AB と直線 OC との交点を D、基板の中心 C と外周 B との中点を E、基板の中心を通る弧 AB に対する弦 AB と直線 OE との交点を F とし、 $a = CE (=BE)$, $b = DF$, $c = OD$ とすると、三角形の相似の条件から、次式が成り立つ。

$$a/r = \delta/2a \quad (1)$$

$$b/c = \delta/(1/2) \quad (2)$$

$$(1/2)/2a = a/(1/2 - b) \quad (3)$$

これらの連立方程式により、 a , b , c を消去すると、

$$r = l^2/8\delta + \delta/2 \quad (4)$$

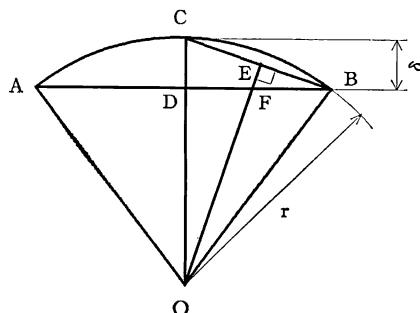


Fig. 1 Schematic diagram for an approximate calculation of Stoney's equality.

が求まる。ここで、 $1 \gg \delta$ より、

$$r = l^2/8\delta \quad (5)$$

この曲率半径 r を Stoney の式⁶⁾に代入し、次式にて薄膜の応力 ($=\sigma$) を計算して求めた。

$$\sigma = \frac{E_s D_s^2}{6 d_F (1 - \nu_s) r} \quad (6)$$

ここで、 E_s , ν_s はそれぞれ基板のヤング率、ポアソン比である。

3. 実験結果

まず、各誘電体膜の耐候性を Fig. 2 に示す。低屈折率膜である SiO_2 膜、高屈折率膜である TiO_2 膜および Ta_2O_5 膜は、イオンビーム照射による耐候性への効果が大きく、 $40 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上の広い範囲において安定している。これに対して、 ZrO_2 膜は約 2 倍の $90 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上でなければ同様な効果は得られない。

次に、各誘電体膜の応力については、Fig. 3 に示すように、低屈折率膜である SiO_2 膜の応力は圧縮応力であり、高屈折率膜である Ta_2O_5 膜もまた圧縮応力でかつイオンビーム照射条件にあまり影響されず、ともに近い値を示す。

以上、フィルターの反りは主に基板に対する薄膜の応力の影響によるので、 SiO_2 膜と Ta_2O_5 膜で構成された多層膜により、広い範囲のイオンビーム照射条件において耐候性に優れ、反りのないフィルターの形成が可能と考えられる。

4. 光合分波フィルターへの応用

上記の結果から、 SiO_2 膜と Ta_2O_5 膜で構成された多

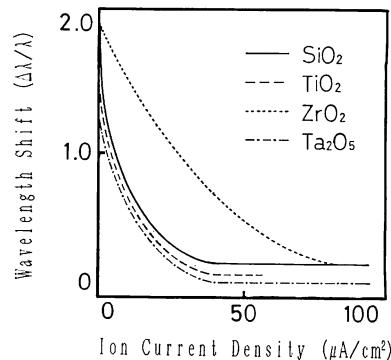


Fig. 2 Stability of dielectric films as a function of O_2 ion current density. It was measured by wavelength shift at 550 nm for humidity change from 0% RH to 94% RH. Solid line is SiO_2 , dashed line is TiO_2 , dotted line is ZrO_2 and dot-dashed line is Ta_2O_5 .

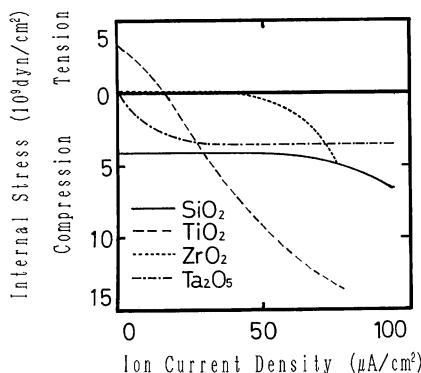


Fig. 3 Internal stress of dielectric films as a function of O_2 ion current density. Solid line is SiO_2 , dashed line is TiO_2 , dotted line is ZrO_2 and dot-dashed line is Ta_2O_5 .

層膜を基板より剥離し、 $1.31\mu m$ 帯透過、 $1.55\mu m$ 帯阻止の short wave pass filter を作成した。

得られたフィルターチップ (**Fig. 4**) の光学特性を **Table 1** に示す。また、耐候性については、フィルターチップと同時に成膜したガラス上のフィルターを用い、上記方法を用いて評価した (**Fig. 5**)。基準の湿度 0% RH を実線、湿度 94% RH を破線に示す。この両者の比較により、波長方向の変動が約 2 nm と、光学特性の安定性が確認された。

5. ま と め

イオンビーム照射条件と誘電体薄膜の諸特性への影響について検討した結果、イオンビーム照射を行った SiO_2 膜と Ta_2O_5 膜は耐候性に優れ、ともに応力が等しく、広いイオンビーム照射条件においてこれらの特性は

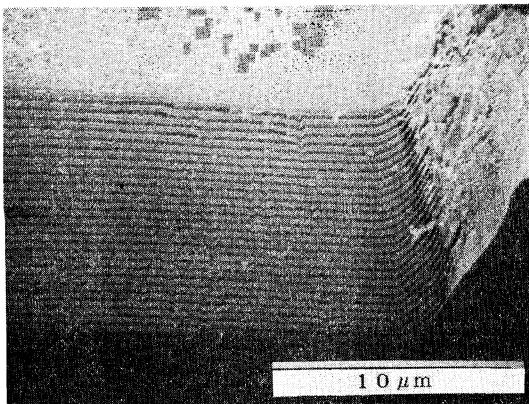


Fig. 4 SEM micrograph of a multi-layer interference filter chip. Edge of multi-layer interference filter chip was prepared with ion irradiation at $300^\circ C$.

Table 1 Optical property of filter chip.

Wavelength	Transmission loss
$1.31\mu m$	0.15 dB
$1.51\mu m$	44 dB
$1.55\mu m$	50 dB
$1.59\mu m$	50 dB

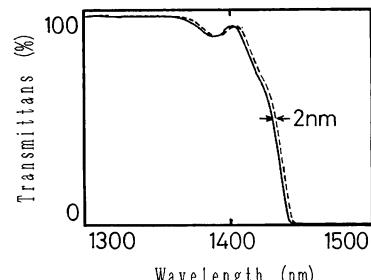


Fig. 5 Measured spectral transmittance of multi-layer interference filter. The films were deposited onto substrates at $300^\circ C$ with ion irradiation of the growing films. The wavelength shift between measurements in 0%RH (solid line) and in 94%RH (dashed line) is 2 nm.

安定していることがわかった。

このことから、応力のほぼ等しい SiO_2 膜と Ta_2O_5 膜との構成で多層膜フィルターを成膜し、基板から剥離することにより、薄膜の応力が要因となるフィルターの反りを低減することが可能となった。

得られた光学フィルターチップは厚さ $13\mu m$ と超薄型で、環境の湿度変化に対しても安定な光学特性を示した。

本論文に関してご助言をいただいた立原技師長および評価に協力していただいた皆様に深く感謝いたします。

文 献

- 1) M. Kawachi: "Guided-wave optical wavelength-division multi/demultiplexer using high-silica channel waveguides," Electron. Lett., **21** (1985) 314-315.
- 2) H. K. Pulker and E. Jung: "Correlation between film structure and sorption behavior of vapour deposited ZnS , cryolite and MgF_2 films," Thin Solid Films, **9** (1972) 57-66.
- 3) P. J. Martin, H. A. Macleod, R. P. Netterfield, C. G. Pacey and W. G. Stainty: "Ion-beam-assisted deposition of thin films," Appl. Opt., **22** (1983) 178-184.
- 4) P. J. Martin, R. P. Netterfield and W. G. Stainty: "Modification of the optical and structural properties of dielectric ZrO_2 films by ion-assisted deposition," J. Appl. Phys., **55** (1984) 235-241.
- 5) 小口泰介, 西功 雄: "誘電体多層膜フィルターの安定性測定法", 電子情報通信学会創立70周年記念総合全国大会予稿集 (1987) pp. 10-331.
- 6) 馬来国砦: "薄膜の内部応力の推定法と発生原因", 応用物理, **57** (1988) 1856-1867.