

7 高性能光学多層膜の光通信分野への応用

Application of High Grade Optical Multilayer Process to Telecommunication Field

伊藤 和彦	Kazuhiro Ito	中央研究所	研究開発部	薄膜技術シニアマネージャー
渡辺 晃司	Koji Watanabe	中央研究所	研究開発部	
上原 昇	Noboru Uehara	中央研究所	研究開発部	
西田 恵美子	Emiko Nishida	中央研究所	研究開発部	
平山 智士	Satoshi Hirayama	中央研究所	研究開発部	
中村 則彦	Norihiko Nakamura	中央研究所	研究開発部	
亀田 健二	Kenji Kameda	中央研究所	研究開発部	

キーワード：光通信用フィルタ、AR コーティング、成膜プロセス

要 旨

大容量通信の担い手である光ファイバ通信は、波長多重通信の時代を迎え更なる大容量化の道を進んでいます。波長多重通信技術のキーとなる重要デバイスの一つである薄膜干渉フィルタの成膜プロセスを開発し、通信用フィルタの試作を行いました。開発した成膜プロセスは低温成膜など光部品との親和性があり、特に高密度波長多重通信用途に要求される0.01%以下の膜厚制御性が得られていることがわかりました。

SUMMARY

Optical fiber telecommunication technologies have been increasing the capacity of communications due to the demand for the increase of the capacity, as we are entering the wavelength division multiplexing telecommunications era. We developed fabrication process for the thin film optical interference filter, a key device for wavelength division multiplexing telecommunications, and developed a prototype of a communication filter. The developed fabrication process is very suitable for optical components using low temperature deposition technologies. The results of the evaluation showed the developed process can provide control less than 0.01% film thickness, which is required particularly for dense wavelength division multiplexing applications.

1 はじめに

インターネットの急速な普及に伴い、その大容量通信のバックボーンを支える技術として光通信は必須の技術となっています。特に1990年代後半の光アンプの実用化、波長多重通信の導入により光通信は桁違いの大容量化の道を進んでいます。これらの大容量化を支える技術は、光アンプなど光を光のまま処理する方向に進んでおり、また、高密度波長多重通信の普及により使用される波長の増加とともに使用される光部品数は飛躍的に増加しています。その中でも波長選択性、反射・透過の制御性を持つ光学多層膜の技術はなくてはならない必須の構成要素です。成膜技術により作製される薄膜干渉光学素子は、比較的自由に波長選択性を作り出すことができます。波長選択性はフィルタとして波長多重通信の重要な構成要素です。また、各種光部品には反射防止膜（AR Coating）が施され、反射による光部品の損失を抑制したり、安定性の向上に寄与する必須の技術です。航空電子では、これまで培ってきた高精度成膜技術をベースに光通信分野への製品展開をめざした開発を行ってまいりました。ここではその一端を紹介致します。

2 航空電子の成膜技術

航空電子では、これまでにリングレーザージャイロ用ミラーや重力波検出用干渉計用ミラー、さらにはX線、EUV（Extreme Ultra Violet：極端紫外）域の反射素子などの多層膜光学素子の開発を行ってまいりました。この開発により以下の特徴ある成膜技術を確立しております。

- (1) 吸収及び散乱を最小限に押さえた極低損失多層膜の実現（損失1.5ppm@1.06 μ m）¹⁾
- (2) サブnm以下の高精度高安定成膜制御技術（X線ミラーにおいて1 μ m以下）²⁾
- (3) 大面積に均一に成膜する技術（150mmで0.1%以下の均一性）³⁾

この成膜技術は、イオンビームスパッタ技術をベースとしたもので、長年の装置開発及びプロセス開発により得られたものです。イオンビームスパッタ技術は、真空中で放電により希ガスなどのプラズマを発生させ、そのプラズマから電界によりイオンを引き出し加速して、対抗して置かれた成膜物質ターゲットに照射し、そこから叩き出された物質原子により成膜する手法です。その特徴として①スパッタ技術の特徴である比較的エネルギーの高い粒子で膜を形成させること、②通常のスパッタ法と比較してプラズマが成膜室内にないため、その影響を受けずに成膜ができることなどが挙げられます。その結果として、低温で、緻密で硬く純度の高い等方性の非常に優れた膜質の膜が得られます。反面、成膜速度

が遅く、生産性が悪いことが欠点とされていました。

この成膜技術を基に通信分野へはどのような応用展開が図れるでしょうか？膜質が優れていることから高い信頼性を要求される通信分野には適していると言えます。特に緻密で密度の高い膜は湿度の影響を受けない「シフトレス」膜を容易に実現します。また、光学定数が安定しており吸収が少ないことは優れた光学特性を得るための基本です。低温成膜を実現できることから従来不可能であった有機物を含むような各種光部品への直接成膜も可能となります。このように様々な応用展開の可能性を考えることができます。しかしながらこのままでは、技術的に十分とは言えません。図1に、光通信で要求される膜厚精度とフィルタ膜厚を示します。ここで従来法と書かれている範囲は、これまで開発してきた技術で対応可能な領域です。もちろんこの領域にもARコーティングやアクセス系フィルタのような多種類の応用展開があります。ところが、特に幹線系に用いられる高密度波長多重通信（Dense Wavelength Division Multiplexing：DWDM）用途では、さらに高精度で膜厚の厚い多層膜形成が要求されています。高精度が要求される用途としては光アンプ用に多種類必要とされ、代表的な物としてはポンプ光と信号光の合成分波用フィルタが必要とされ、これには長波長透過フィルタや短波長透過フィルタなどいわゆるエッジフィルタが用いられます。またCバンド、Lバンドあるいは信号光と監視光帯域などのバンド切り分け用のフィルタなども用いられます。これらには透過域が数nmから数10nmのバンドパスフィルタが使われます。これらのフィルタは要求精度として0.1から0.01%程度が要求され膜厚としては50 μ m以上に及ぶ物もあります。さらにDWDMの信号光の合成分波用途には狭帯域フィルタが用いられますが、この要求精度は0.01%以下です。航空電子では、これら要求精度の高い光学多層膜作製に対応するための開発を行いました。次章以降その内容についてご紹介致します。

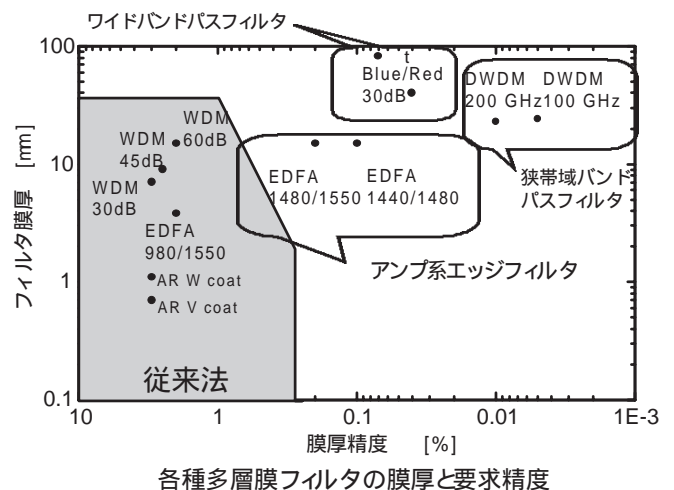


図1 光通信用多層膜の用途とその設計膜厚及び要求精度

3 光通信フィルタ作製用イオンビームスパッタ装置

前章でご紹介したように、DWDM用の光通信用フィルタの要求精度は0.01%以下です。このような精度を実現するためには、従来の装置では不十分です。このため専用装置の開発を行いました。開発の重要なポイントとして、フィルタ成膜に必要な成膜精度の実現とともに生産性への配慮です。生産性としては①成膜速度の向上、②膜厚分布の均一化とその安定性が最も重要な点です。図2に開発した装置の外観図を示します。この装置の特徴は以下の通りです。

- (1) 装置内の基板、ターゲット、イオン源の配置の最適化設計による膜厚分布の改善と成膜速度の向上
- (2) 高周波励起型の大電流イオン源の導入による成膜速度の向上
- (3) 大型クライオポンプ排気系の採用による排気速度の向上及び膜質に影響する環境の清浄化
- (4) 新開発の光学式膜厚モニタによる高精度膜厚制御の実現
- (5) 高速基板回転(1,000rpm)の採用による膜厚分布の改善

図3は光学式膜厚モニタを取り付けたイオンビームスパッタ装置の概念図を示します。イオン源の中でアルゴンガスのプラズマを起こし、そこからイオンを加速引き出します。引き出されたイオンは、ターゲットに照射され、ターゲット物質をたたき出します(スパッタ)。これが対向しておかれた基板上に堆積し膜となります。基板は回転基板ホルダー上に乗っており、回転により膜厚分布を抑えます。この時、光学式膜厚モニタでは、測定用の光を基板に入射させ、その透過光の強度変化を測定します。基板上に膜が堆積すると干渉により強度が周期的に変化するのを観測し、理論値とのフィッティングにより膜厚を割り出します。光学式膜厚モニタは、膜の屈折率を含んだ光学膜厚を計測するモニタとして高精度の要求されるフィルタの成膜には必須の技術です。光学式膜厚モニタを搭載した装置は従来からあり、特にイオンアシスト蒸着法で通信用フィルタを作る装置には必ず搭載されています。今回開発した光学式膜厚モニタは、(1)基板回転の軸中心から外れたところを計測するOff-Axis法を採用していること及び(2)高速測光方式を開発し、回転中の平均値ではなく各角度に対応した位置を測定することができ、分割基板に対応できるところが従来の装置と違う大きな特長です。これにより膜厚分布の均一性及び安定性と併せて広い成膜エリアを確保することができ、一成膜あたりの取り数を多くすることができます。また、大電流密度のイオン源の導入と装置内配置の最適化により従来と比較して早い成膜速度(従来比:5~6倍)を実現しており、成膜バッチの回転数を上げることができます。この両者を実現したことにより高い生産性を実現しています。



図2 開発した光通信用フィルタ成膜装置

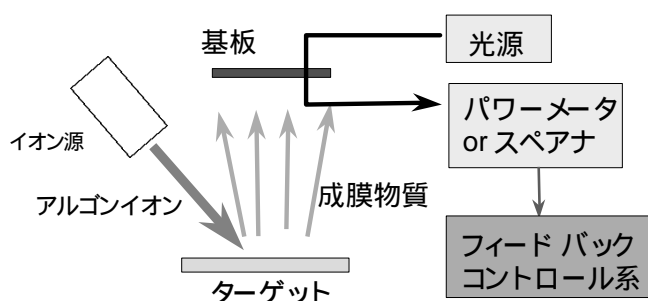


図3 成膜装置の概念図

4 光通信用フィルタの例

開発したイオンビームスパッタ装置で作製したフィルタの例を示します。図4は、いわゆるエッジタイプのフィルタで、アンプの励起光と信号光の合分波やバンド分離などに用いられるものです。この成膜には、膜厚精度として、0.1%以下が必要で、総膜厚が約35 μm となっています。図5は、ワイドバンド型のバンドパスフィルタで、バンド分離、信号光と監視光の分離などに用いられます。ここに示したものは、いわゆるブルーバンド、レッドバンド分離用フィルタです。これは、膜厚精度として0.03%が要求され、総膜厚が40 μm 以上に及び非常に厚いものとなっています。図6が、DWDM信号光の合分波に用いられる狭帯域バンドパスフィルタで、ここに示したものは、チャンネル間隔が100GHz対応のものです。この要求膜厚精度は0.01%です。これらのフィルタの試作により十分要求膜厚精度を満足する装置が開発できたことがわかりました。また、これらの試作においては、1.4mmから2mm角程度の実際に用いられるチップサイズのフィルタが一成膜あたり数百から数千とれることがわかりました。これは従来法と比較して多いことがわかります。

5 まとめおよび今後の展開

DWDM光波長多重通信に必要なフィルタ作製に要求される成膜精度を持ち、かつ十分な生産性を持つイオンビームスパッタ装置を開発し、各種光通信用フィルタの試作を行いました。その結果膜厚精度0.01%も成膜可能な装置を開発することができました。

現在、本装置を基本とする生産用装置を導入し、生産ラインの立ち上げを行っています。生産ラインは成膜装置だけではなく、基板を洗浄する工程から始まり、成膜後の研磨、ダイシングなどのチップ化行程、検査工程などを含んでいます。これができるのであれば光通信用フィルタの一貫生産が可能となります。今後この生産ラインを活用し、各種光通信用フィルタの製造を行く所存です。

また今回詳細は述べませんでした、光部品へのARコーティングも重要です。特に光ファイバ端面へのARコーティングは、ますます重要性を増していますが、航空電子ではイオンビームスパッタ法の特長である低温成膜に注目し、やはり同様に一貫生産ラインを整備しています。最近ではレーザーモジュール用ファイバの端面へのARコーティングなどの場合、光学特性が非常に重要になってきており、我々が開発してきた成膜法はその面でも優れた特性を出しています。

また今後の展開としては今回開発した成膜技術、手法をベースにさらにその特長を生かした光部品及びコンポーネントの開発を行いたいと考えています。例えば、導波路や変調器、あるいは光スイッチなどとの組み合わせ、複合化が考えられます。従来フィルタとこれらの機能素子は、別々にコンポーネントとして組み立てられ、それを組み合わせることにより特定の機能を発揮するサブシステムとなります。しかし成膜プロセスをこれらの工程に組み込むことにより一体化した複合光コンポーネントとすることができ、より付加価値の高い製品となります。現在、光導波路の工程にフィルタ成膜を取り入れ、端面直接成膜により導波路にフィルタを取り付ける工程を省く、コストパフォーマンスの高い製品を光アクセス系向けに開発中です。今後更なる応用展開を計画しています。

[参考文献]

- 1) A. Ueda et al : Opt. Rev., 5, p.369(1996)
- 2) 渦岡 ほか : 応用物理、66, p.1345(1997)
- 3) S. Sato et al : App. Opt., 38, p.2880(1999)

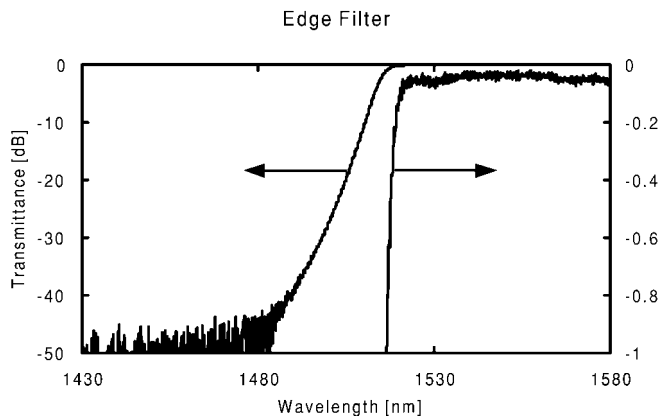


図4 試作したエッジフィルタの光学特性の例

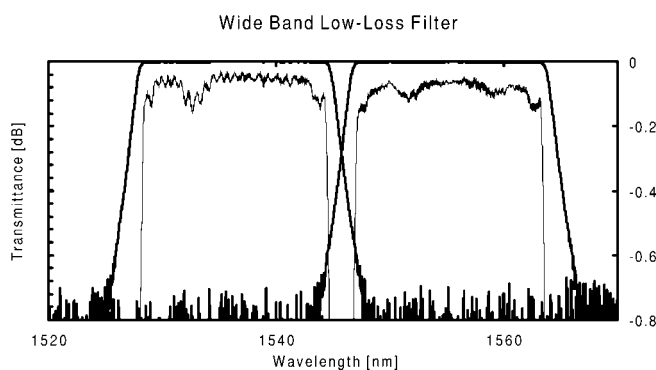


図5 ワイドバンドパスフィルタの光学特性の例

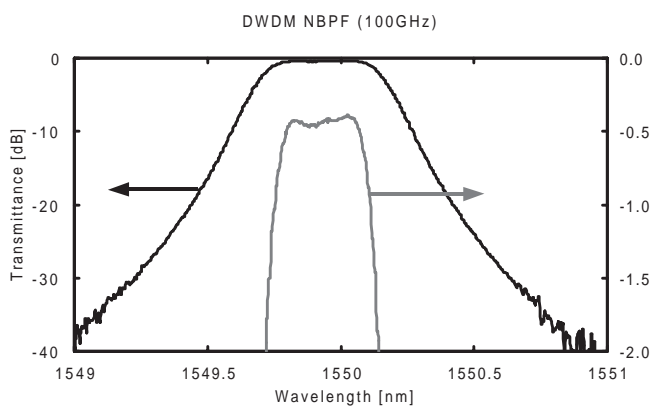


図6 狭帯域バンドパスフィルタの光学特性の例