

技術紹介

10 高性能利得等化フィルタの開発

Development of High Performance Gain Flattening Filter

花園 勝巳	Katsumi Hanazono	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	
村松 尚宏	Takahiro Muramatsu	中央研究所	研究開発部	
町田 晴政	Harumasa Machida	中央研究所	研究開発部	
伊藤 和彦	Kazuhiko Ito	中央研究所	研究開発部	シニアマネージャー
平山 智士	Satoshi Hirayama	光デバイス推進部		主任

キーワード：光通信、光増幅器、利得等化器、イオンビームスパッタリング、誘電体薄膜、多層膜

Keywords： Optical communications, Optical amplifier, Gain flattening device, Ion beam sputtering, Dielectric thin film, Multi-layer film

要 旨

当社では、これまで独自に開発してきましたイオンビームスパッタリング成膜法に高精度透過率膜厚制御技術を組み合わせ、各種通信用誘電体多層膜フィルタの製品化を行っております。特に高度な膜厚制御を要求される、光ファイバ増幅器に用いられる利得等化フィルタについても製品化に成功しています。しかし、近年のエルビウム添加ファイバ増幅器の高性能化にあわせ、その中で用いられる利得等化フィルタの光学特性も多岐に及んでいます。今回、より複雑な光学特性に対し柔軟に対応するために、設計・成膜・制御技術を向上することで、より目標波形に近い利得等化フィルタを得るとともに、さまざまな光学特性要求に対応できるようになりました。

SUMMARY

By combining the ion beam sputtering deposition method and high-accuracy transmittance optical thickness control technologies that JAE has originally developed, we are proceeding with productization of the dielectric multi-layer coating filter for a variety of communication applications. We also succeeded in productization of the gain flattening filter used for the optical fiber amplifier, for which strict deposition thickness control is required. However, along with the shift to high-performance of the erbium-doped fiber amplifier in recent years, optical characteristics of the gain flattening filter used in the amplifier are diversifying. By improving design, deposition, and control technologies in order to flexibly cope with more complex optical characteristics, we succeeded in development of the gain flattening filter more close to the target wave and possible to cope with a variety of optical characteristics requirements.

1 まえがき

現在、光通信システムの分野では、光通信の大容量化に不可欠な波長多重通信 (Wavelength Division Multiplexing : WDM) に関する研究・開発が進められています。その中のキーデバイスとしてエルビウム添加ファイバ増幅器 (EDFA) についても増幅帯域特性 (広帯域・利得平坦性) および出力特性に関しての特性改善が精力的に進められています。図1の上図はEDFAの構成例を示し利得等化器以外にもさまざまなデバイスが使用されていることが分かります。また、下図は利得平坦化の概念を説明する図です。EDFAの利得スペクトルは、エルビウムイオンのエネルギー準位の分裂構造を反映して複雑な形状となり、この利得スペクトルを平坦化するには、相反する損失スペクトルを持つ利得等化フィルタをエルビウム添加ファイバ (EDF) 内に挿入することで平坦化しています。

今回、当社において一昨年¹⁾に開発された利得等化フィルタの特性の改善と、さらに複雑な光学特性に対応できるよう開発をおこないましたのでご紹介します。

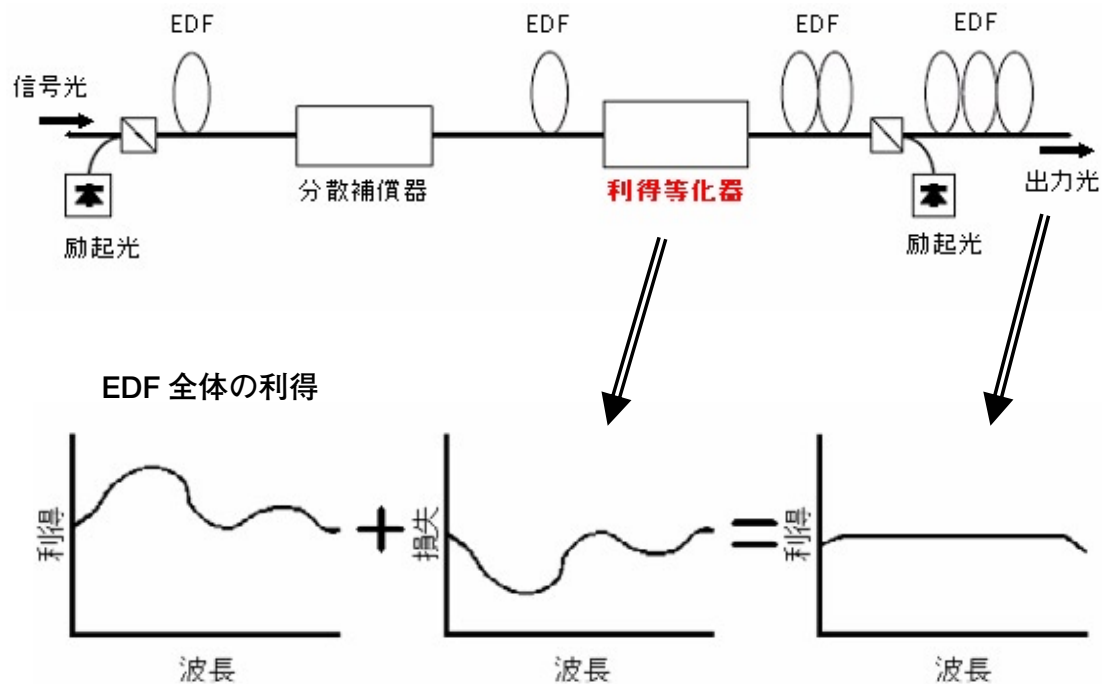


図1 EDFAの構成例と利得平坦化の概念

2 利得等化フィルタについて

EDFA で用いられる利得等化器にはエタロン型や長周期ファイバグレーティングなど何種類がありますが、誘電体多層膜型以外の方式ではいくつかの部品を組み合わせる必要があるのに対して、誘電体多層膜型では 1 つのフィルタを EDF 内に挿入するだけでよく、また、光学特性のなめらかさ・挿入損失および生産性の面からも有利です。

当社では、一昨年に独自の高精度透過率制御法を開発し、高性能エッジフィルタおよび利得等化フィルタを実現してきました。利得等化フィルタの目標波形は深さ -5.6dB ・傾き 1.9dB/nm であり、目標波形と実測値との差である損失偏差は $\pm 0.3\text{dB}$ 未満で挿入損失は 0.1dB 未満でした。

近年、EDFA の高性能化にともない、より複雑な光学特性の要求が増えています。利得等化フィルタの難度を表すパラメーターとして、図 2 に示すように、光学特性の谷の深さと傾きがあげられ、目標損失偏差に大きく影響します。谷が深いほど・傾きが急峻であるほど難しいものとなります。図中の目標波形は本報告における目標波形であり、谷の深さ -8.8dB ・傾き 2.5dB/nm というものであり、前回報告の目標波形と比べて非常に難度の高いものです。

また、利得等化の用途に加えて、波長を切り分けるエッジフィルタの特性も同時に満たすようにするなどの要求もあり、それら付加される要求によって難度は上がります。

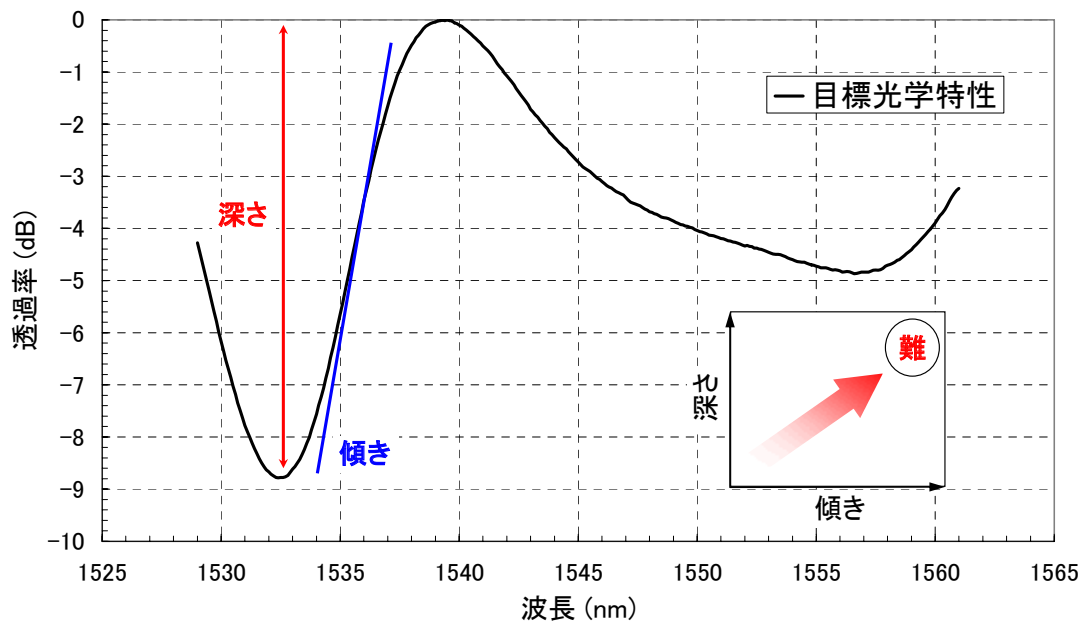


図 2 利得等化フィルタの光学特性の例

3 技術開発

難度の高い利得等化フィルタを小さい損失偏差で達成するためには、一昨年の技術開発に加えて大きく2点の開発要素が挙げられます。

- ・設計自由度の向上による設計自体の目標光学特性からのズレを抑える
- ・成膜プロセスを詳細に解析・シミュレーションすることで設計にフィードバックする

3.1 設計自由度の向上

利得等化フィルタの膜設計は、基礎となる膜構造を専用ソフトによって最適化することで得られます。膜設計の段階においては、層数・総膜厚が重要なパラメータとなります。図3は、総膜厚による目標波形と設計値とのズレを比較したものです。総膜厚 $80\mu\text{m}$ の設計では、目標波形とのズレは $\pm 0.1\text{dB}$ に抑えられており、層数および膜厚の最適化により損失偏差を抑えられるということが分かります。

また、当社ではさまざまな利点からイオンビームスパッタリング成膜法を採用しています。今回、成膜装置のイオンガン・ターゲット・基板等の配置を改善することで成膜時間をおよそ半分に短縮することに成功し、総膜厚の厚い設計に対しても短納期で対応することが可能となっています。これにより設計の自由度が向上し、目標波形と設計値とのズレを抑えることができ、より複雑な光学特性に対応できるようになりました。

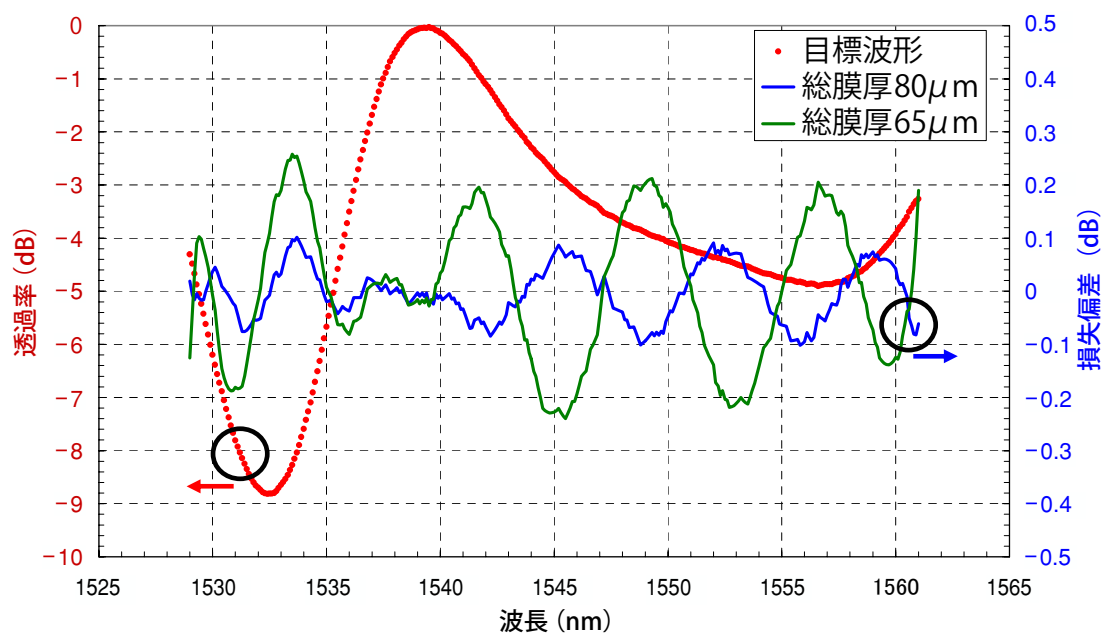


図3 総膜厚による設計段階における損失偏差の比較

3.2 成膜プロセスのシミュレーション

利得等化フィルタでは、その膜構造は周期的ではなく、層を重ねるごとに膜厚誤差が累積することになります。前述の設計自由度の向上により層数も増加することから誤差の抑制および補正において、より高精度が求められます。

一昨年に開発された当社独自の高精度透過率制御では、誤差補正が完全ではなく、損失偏差を最小に抑えられていませんでした。そこで成膜プロセスのシミュレーションによる誤差要因の解析を行い、その原因をとりぞくとともに、設計へフィードバックすることで、誤差要因の変動による光学特性への影響を少なくする設計解を得ることができました。誤差要因としては、成膜速度・各層における膜厚制御のタイミングそして光学定数の変動などがあげられます。

図4は、膜設計の違いによるシミュレーション結果の比較を示しています。青線の設計改善後の方は、膜厚制御法にあわせた成膜誤差に強い設計となっており、同じ誤差要因の変動に対しても、得られる光学特性は十分に損失偏差が抑えられています。

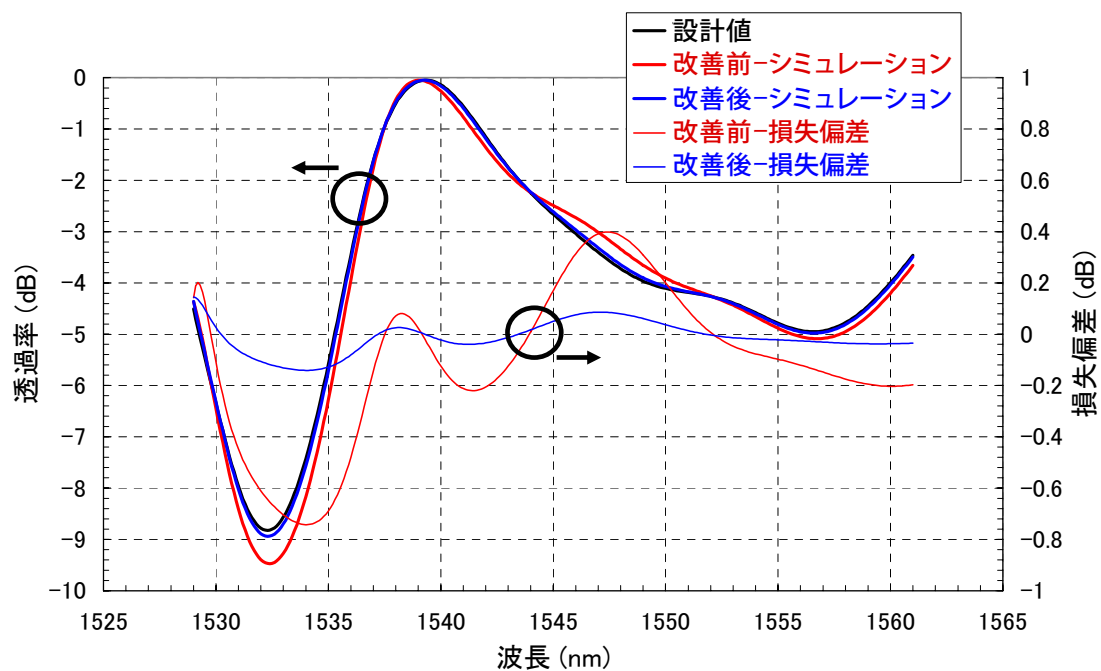


図4 設計改善前後の成膜シミュレーション比較

4 成膜結果

深さ -8.8dB ・傾き 2.5dB/nm という難度の高い利得等化フィルタの目標波形に対して、成膜シミュレーションから得られた結果をもとに改善された膜厚 $75\text{ }\mu\text{m}$ の設計を用いて成膜試作を行いました。目標波形と設計値とのズレは $\pm 0.1\text{dB}$ 以内に抑えられており、膜厚制御法にあわせた成膜誤差に強い設計となっています。

図5は、成膜結果を示し、損失偏差 $\pm 0.15\text{dB}$ ・挿入損失 0.1dB 未満という優れた利得等化フィルタを得ることができました。この結果は、シミュレーションによく一致しており、膜厚制御精度としては $\pm 0.01\%$ 以下に抑えることができました。表1に本報告と一昨年に報告された利得等化フィルタについての比較をまとめます。

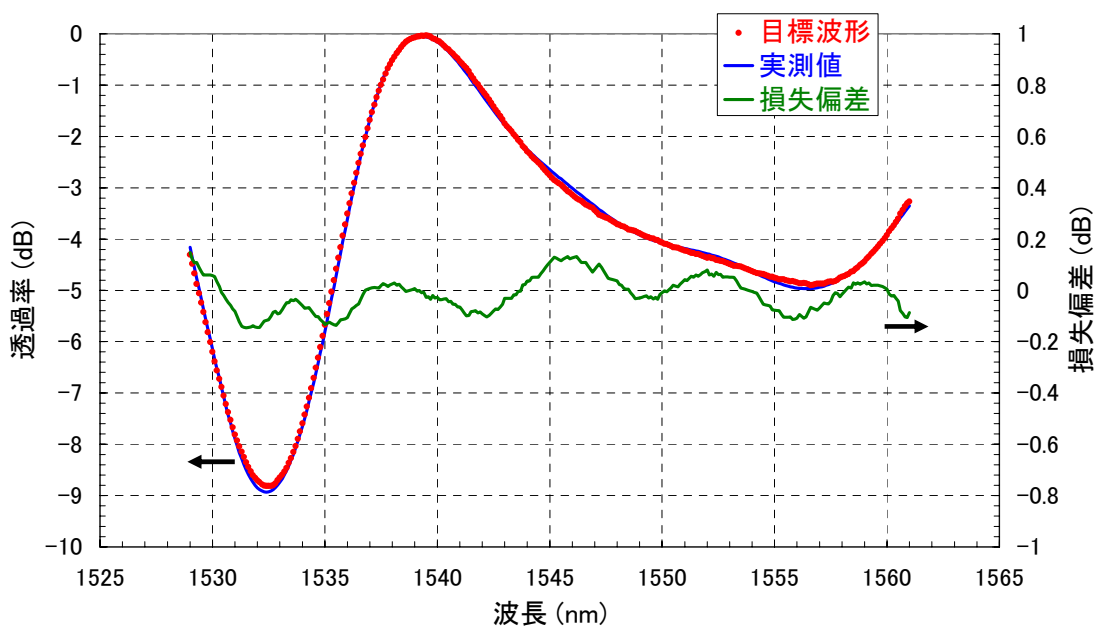


図5 利得等化フィルタの成膜結果

表1 本報告と一昨年報告の比較

	深さ・傾き	膜厚	損失偏差
一昨年報告	$-5.6\text{dB} \cdot 1.9\text{dB/nm}$	$50\text{ }\mu\text{m}$	$\pm 0.3\text{dB}$
本報告	$-8.8\text{dB} \cdot 2.5\text{dB/nm}$	$75\text{ }\mu\text{m}$	$\pm 0.15\text{dB}$

5 むすび

イオンビームスパッタリング成膜法における成膜速度の向上と、成膜時の誤差要因の解析および成膜シミュレーションから膜設計へフィードバックを行うことによって、深さ -8.8dB ・傾き 2.5dB/nm という難度の高い利得等化フィルタの目標波形に対して損失偏差 $\pm 0.15\text{dB}$ ・挿入損失 -0.1dB 未満を実現できました。

今回の開発を適応することで、さまざまな光学特性にも柔軟に対応し、高性能な誘電体多層膜フィルタを作成することが可能となります。

【参考文献】

- (1) 中村 ほか：“高性能エッジフィルタ・利得等化フィルタの開発,” 航空電子技報, No.26(2003)
- (2) H. A. Macleod, E. Pelletier: “Error compensation mechanisms in some thin-film monitoring systems,” OPTICA ACTA, vol.24, No.9, p.907-930(1997)
- (3) B. T. Sullivan, J. A. Dobrowolski et al.: “Manufacture of complex optical multilayer filters using an automated deposition system,” ISSP'97, p.589(1997)
- (4) 須藤昭一：“エルビウム添加光ファイバ増幅器,” (株式会社オプトロニクス社, 1999)