

ファイバブラッググレーティング 製造システム自動化

ラルフ・デルムダール、クリスチャン・バツハヴァルト

干渉リソグラフィに基づいた製造システムが、リモートファイバセンシング向けFBGの自動化された製造を可能にする。

ファイバブラッググレーティング (FBG) 技術は数十年前から利用されているが、このようなデバイスの商用利用、特にセンシングアプリケーションでは、2つの理由から相対的に限られている。第1に、歴史的にFBGによる監視システムの利用は非常に高価だった。しかし、これらの価格は過去2、3年で大きく下がってきた。第2の限界は、FBGそのものの製造法にある。

特に、センシングFBGは、まだ研究室で少量生産されることが多い。その結果、リードタイムが長く、単価が高い。このような状況では、センサメーカーが利用するのは特に問題である。新製品の開発は、それぞれFBGの特性がわずかに違う何十もの設計を繰り返す必要があるかも知れないからだ。さらに、一定のパフォーマンス特性を持つFBGの量産品の入手は難しい。

こうした状況は今、スウェーデンのノースラプ・フォトニクス of 新しい自動化システム、基本的にFBGの自動生産を可能にするシステムで対処できるようになってきている。このシステムの利点は二重にある。まず、FBG製造の単価を大幅に下げる。第2に、製造されるFBG一つ一つが優れた均一性と品質を持つ。ここでは、このシステムの構造、操作、利用を概観する。

FBGの背景

FBGは、光ファイバのコアの屈折率

に伝搬方向に沿って周期的変調を作り出すことによって形成される。その周期パターンが、フィルタとして機能するブラッググレーティングを作る。これは干渉によって入射光の一部を反射するためである。高反射薄膜コーティングと似た仕方で機能するので、FBG反射率の大きさ、中心波長およびスペクトル帯域は、グレーティングパラメータを変えることによって正確に制御できる。特に、これらのパラメータには、グレーティング周期、反射率変調深度、それにFBGの長さが含まれる。

FBGの最もわかりやすい用途は、複合ミラーあるいはスペクトル選択フィルタである。通信アプリケーションでは、FBGはこうした用途で広範に導入されてきており、その場合FBGは別のファイバに直接融着できるので、個別のバルクコンポーネントが不要になる。これと同じ理由で、FBGは共振器端ミラーとしてファイバレーザシステムでも広く用いられている。

環境温度の変化や機械的なゆがみによって生ずるグレーティング周期、つまり有効屈折率が少しでも変わると、FBG反射率バンドの中心波長がシフトする。これは、温度や圧力(つまり機械的動作)センサとしての利用につながる。

この用途では、FBGは他のセンサタイプに対していくつかの利点がある。特に、FBGは磁界や電磁場の影響を受けない、また高温や高圧環境でも問題な

く動作が可能である。FBGは概ね腐食性薬品に耐性があり、核放射線の影響さえ受けない。さらに、電力を必要としない、また他の構造物の中に物理的に簡単に埋め込め、材料の機械的特性に妥協する必要はない。このためFBGは、原子力発電所、石油やガス業界のダウンホールなど様々な非常に厳しい環境、磁気共鳴映像法(MRI)スキャナ付近での利用に理想的である。また、ビルや橋に直接埋め込む用途にも適している。

FBGの製造

ほとんどの光ファイバのコアにはゲルマニウム(屈折率を増やすために)が添加されており、紫外線(UV)感光性ファイバとなっていることからFBGの製造は恩恵を受けている。特に、感光性とは、UV光照射が永久的な屈折率変化を引き起こすことを意味する。場合によっては、感光性は水素添加によって作る、あるいはさらに強化する。

FBG製造の最も一般的な方法では、感光性ファイバをUV光の干渉縞パターンに暴露する。これは通常、フェーズマスクを通してエキシマレーザの出力を向けることによって行われる(基本的に回折格子: 図1)。フェーズマスクは、入射光を様々な次数で回折するので、入射光はマスク近傍で重なり合い、光学的に相互干渉する。この干渉がレーザ強度の安定した高低交替ゾーンを作り、その間隔はフェーズマスクの周

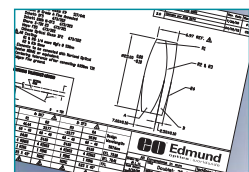
在庫品と特注品の オプティクス

設計から試作、
そして大量生産まで



Craig Ament

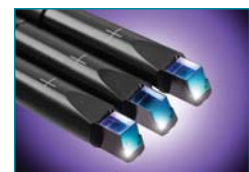
光学コーティングエンジニア
米国本社



完全な設計データを公開



在庫品のパーツを用いて
試作品を素早く構築



特注の組み立てにも対応する
垂直統合された製造資源

あなたのアプリケーションを
ご相談ください！

Edmund
optics | japan

エドモンド・オプティクス・ジャパン株式会社

〒113-0021 東京都文京区本駒込2-29-24

パシフィックスクエア千石 4F

TEL: 03-3944-6210 FAX: 03-3944-6211 | www.edmundoptics.jp

www.edmundoptics.jp/manufacturing

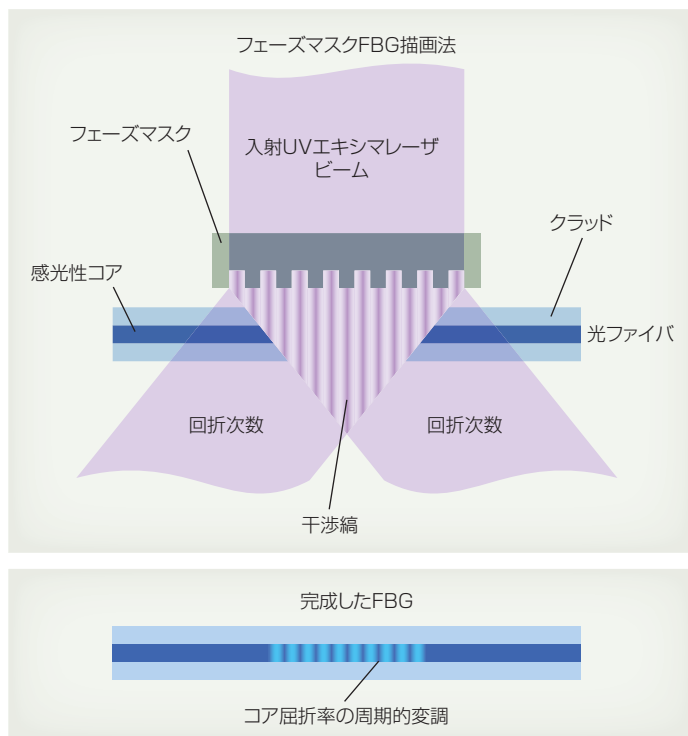


図1 この方式に見られるように、フェーズマスク法、FBG描画により干渉縞が生じ、これが空間を通して下方の光ファイバに投影し(上)、ファイバに均一間隔のFBGパターンを形成する(下)。

期に等しいか、その値の半分になっているかのいずれかであるが、これは正確な照射配置によって決まる。

このプロセスは概念的に単純であるが、現実にはFBG製造時に克服すべき大きな障害がいくつか存在する。まずコスト、特にフェーズマスクとともにエキシマレーザーのコストがある。次に、グレーティングが、適切な間隔と屈折率変化特性で、ファイバに沿って正確に正しい位置に作製できるようにすべてのコンポーネントを保持し、位置決めを行うこと。また、目標が各々が一貫した特性を持つFBGの量産であるなら、使用する光ファイバの屈折率におけるバッチごとの変化を調整するための何らかの方法をシステムが持っていないなければならない。

スウェーデンのノースラブ・フォトニクス社 (Northlab Photonics) の自動システムは、量産ベースで高品質で一貫性のあるFBGを経済的かつ柔軟に製造するという要求に応えるために開発

された(図2)。NORIA装置は、コヒレント社製波長193nmのExciStar XSエキシマレーザー、ビーム調整オプティクス、最大16枚のイブセン・フォトニクス社 (Ibsen Photonics) のフェーズマスク(均一またはチャープト)、自動化機構、および制御ソフトウェアを統合しており、FBGの自動製造を可能としている。

例えば、異なるFBGタイプをオペレーターの手を借りないで切り替えて製造できるようにするためにフェーズマスクがすべて回転ディスクに保持されている。光ファイバは、モジュラーフィクスチャにマウントされ、リニアステージ上で位置決めされる。これにより、FBGはファイバに沿って正確な位置に自動的に描画される。さらに、システム全体のコストは、すべてのコンポーネントを個別に調達する費用よりも低い。このシステムによって操作の柔軟性と一貫性のある製品をどのように製造できるかについて、いくつかの点は検証するに値する。

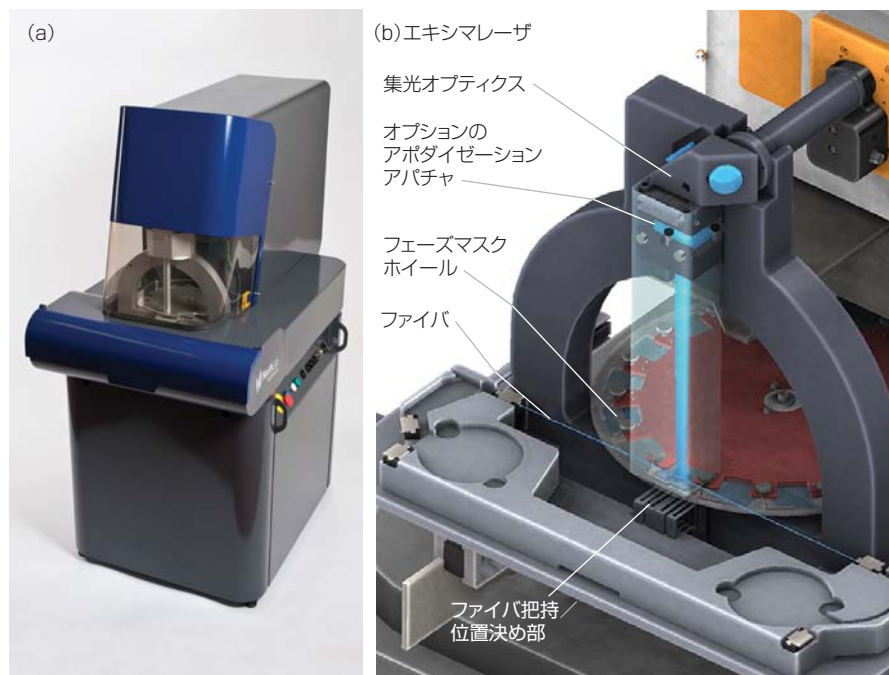


図2 NORIA自動FBG描画装置(a)は、エキシマレーザーとホイール搭載フェーズマスク(b)の1枚を使用して光ファイバにFBGを描く(イプセン・フォトニクス社提供)。

中心波長精度

FBGで唯一重要なパラメータは、恐らくその反射帯域の中心波長である。この数値は、2つのパラメータによって決まる。FBGの周期(使用するフェーズマスクによって設定される)、およびファイバの有効屈折率(これは、コアとクラッドの屈折率に依存する)。ファイバの有効屈折率は、ファイバの開口数(NA)から算出される。その数値は、メーカーが全てのファイバに対して仕様化している。残念ながら、ファイバメーカーは、コアの屈折率をそれほど厳しくコントロールしていないので、メーカーが仕様化した値はバッチごとに大きく変動し、時にはバッチ内でも違うことがある。

フェーズマスクは高価であるので、供給ファイバの屈折率に変動があっても、ただ1枚のフェーズマスクを使って固定目標中心波長を持つ量産FBGを一貫して描けることが目標である。NORIAシステムは、描画中に力を加えて物理

的にファイバを延ばすことによってこれを成し遂げる(いわゆる「プリテンションング」)。ファイバがその後でこの力から解放されると、ファイバは元の長さに戻るため、FBGの周期が変化する。したがって、プリテンションングフォースを調整することによって、FBGは同じフェーズマスクを使って一定範囲の周期で描くことができる。

実際、NORIA装置は、プリテンションングを使ってFBGの中心波長を4nm(フェーズマスクは通常、1550nm中心波長)変えることができる。これは、ファイバNAにおける一般的なバッチごとの変動に対して必要となる修正の二倍以上である。プリテンションングフォースの制御は、FBG中心波長を0.1nm精度で設定できる精度であり、製造再現性は±50pmである。

反射率帯域幅

中心波長に次いで、次の重要なFBG特性は、一般に反射率帯域幅と、名目

反射率バンド(サイドローブ)の外に存在する反射率ピークである。反射率帯域幅をコントロールするパラメータは、FBG長と屈折率変化の変調深度である。

長さに沿って均一な屈折率変調を持つグレーティングでは、グレーティング長が増すに従い屈折率帯域幅が狭くなる。残念ながら、屈折率ピークが鋭くなればなるほど、ますます多くのエネルギーがサイドローブに逸れる。この効果は、FBGに沿って屈折率変調の深さを変えることによって、つまりアポダイゼーションによって相殺できる。しかし、有効グレーティング長が短くなるので、これによって中心屈折率ピーク帯域幅がある程度増加する(図3)。

コヒレント社のExcistar レーザの出力ビームは3×6mmで、長手方向に均一な(トップハット)強度分布を持ち、より短尺ではガウシアンプロファイルとなっている。オプティクスによって、1~10mm超のFBGが描けるようにNORIAシステムのビームが調整できる。ビームアポダイゼーション機能は、NORIAシステムに直接組み込まれている。これは、ビームパスの成形開口部を用いてレーザの均一分布をガウシアンプロファイル(またはその他)となるように変換することで達成される。現在、そのシステムは、10mm長FBGでサイドローブ抑圧比が少なくとも15dBとなるようにガウシアポダイゼーションマスクで設定されている。要求があれば、他の設定の特注マスクを作製することは可能である。

機械的安定性と位置精度

中心波長透過を20~50dBの範囲で調整した均一なFBGを描くには、レーザからの5mJパルスが1000程度必要になる。このようなレーザは500Hzで動作するので、露光時間は2秒となる。チャープトFBG(グレーティングの長手

FBGアポダイゼーションの効果

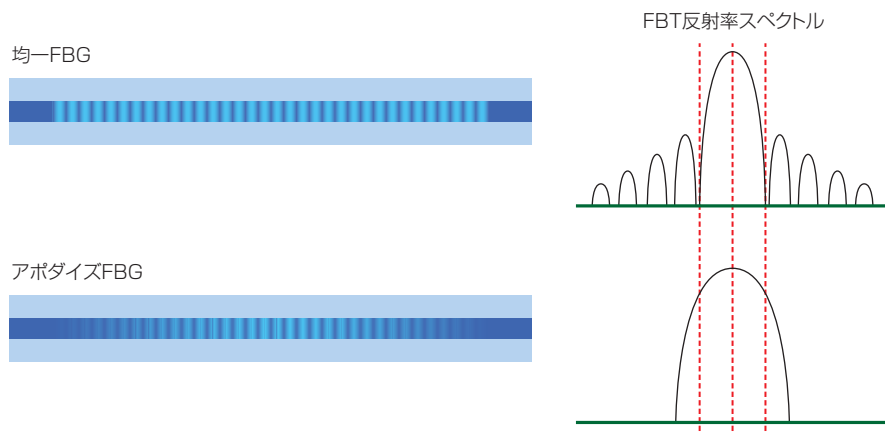


図3 FBGアポダイゼーションは、サイドローブを抑圧するが、反射率帯域幅は広がる。

方向にグレーティング周期が変化する) は、同等レベルの反射率達成には遥かに高い屈折率コントラストが必要になる、つまり露光時間はもっと長い。この周期で、フェーズマスクとファイバとの間の相対的な動きがどうであっても、たとえナノメートルレベルであっても、それはFBGのパフォーマンス劣化につながる。NORIAシステムでは相対的な振動運動を完全除去するために、露光中にファイバをフェーズマスクに対してしっかりと固定しており、マスクは相対的に大きな機械的構造物に取り付けられている(U形状部品:図2)。

とは言え、ファイバホールディングとクランピングシステムは、もう1つ別の重要な要件を満たさなければならない。特にセンシングアプリケーションでは、一本のファイバに多数のFBGを描くことは珍しくない。さらに、これら個々のFBG間の間隔は、通常、高精度にコントロールしなければならない。しかし、各FBGは連続的に作製されるので、FBGが描かれた後に1mm以

内で再度FBGを描くのは通常は困難である。

NORIAシステムは、独自のクランピングと位置決め技術を利用して、サブミクロン精度でフェーズマスクに対してファイバを位置決めする。また、平行移動ステージも組み込まれており、全長250mmのファイバに0.1mmの位置精度で多数のFBGを描くことができる。このようなレベルの精度と再現性でこうした作業を仕上げることは以前はできなかった。

FBGを広範囲に導入することは、これまでは限界があった。その理由の一端はデバイス製造が高価で難しいことである。新しいエキシマレーザーベースの装置は、ファイバの位置決め、自動フェーズマスク選択、露光、ファイバの解放を含めて、1個のFBGを30秒以下で描く。これは、FBGの製造単価を飛躍的に下げることになる。併せて、センシングや他のアプリケーションでの利用が成功するために重要な、ユニットごとの一貫性も実現されている。

著者紹介

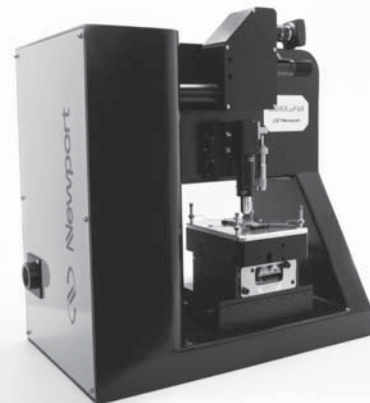
ラルフ・デルムダールは、コヒレント社の製品マーケティングマネージャー。 e-mail: ralph.delmdahl@coherent.com URL: www.coherent.com
 クリスチャン・バッハヴァルトは、イブセン・フォトニクス社のグレーティング事業ユニット副社長。 e-mail: kristian.j.buchwald@ibsen.dk URL: www.ibsenphotonics.com

Newport
Experience | Solutions

**2D/3D レーザー微細加工用
ワークステーション**

μFAB

高性能ステージ
任意のレーザーと組み合わせ
微細加工用ソフトウェア提供



アプリケーション

- ◆マイクロ3Dプリンター(二光子重合)
- ◆レーザーアブレーション、表面改質
- ◆バイオ応用
(ナノサージェリー、マイクロダイセクション)

フェムト秒レーザー
微細加工サンプル



<http://www.newport-japan.jp/>

E-mail: newport@japanlaser.jp

JLC 株式会社 日本レーザー
JAPAN LASER

本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1
TEL: 03-5285-0853 (直)

大阪支店 TEL: 06-6323-7286
名古屋支店 TEL: 052-205-9711

LFWJ