

イオンビームスパッタリングによる UV 光学コーティングの最適化

ジェイソン・ジョージ、マティアス・ファルムバイグル

異なるプロセス条件と蒸着後のアニーリングは、酸化ハフニウムと酸化シリコンの光学フィルムにどのような影響を与えるのだろうか。

イオンビームスパッタリング (IBS) 技術は、UV (紫外) レーザに対する高品質な光学コーティングの蒸着を可能にすることによって、UV レーザ光学部品の開発を過去25年間にわたって支えてきた (図1)。レーザービームの操作と導光に用いられる品質の高い光学部品は、レーザーの性能と寿命の最適化に欠かせない要素である。生物医学、半導体加工、微細加工をはじめとする UV レーザの応用分野が成長し続けるのは、IBSのおかげである。

UV 光学コーティングには重要な課題が残っているが、IBSを高品質な光学コーティングの蒸着に活用することができる。

UV レーザ光学部品の課題への対処

UV レーザ光学部品における重要な課題は、吸収の増加である。それは、レーザーの出力を低下させて散乱を増加させ、強度の低下につながる。光学フィルムの応力、化学量論的組成、またはフィルム密度を最適化しなければ、フィルムはさらに損傷する恐れがある。コーティングは最も脆弱な部分だが、光学コーティング設計、基板クリーニング、蒸着、蒸着後処理などの重要な処理工程を改善することで、光学コーティングを最適化することができる。

当社の最新研究は、ターゲット選択、酸素圧力、スパッタエネルギー、アニー

リング時間など、光学コーティング製造のさまざまな側面に着目するものである。IBSシステムによって蒸着される光学コーティングの品質を改善することが、その主要目標である (図2)⁽¹⁾。最近の研究では、異なるプロセス条件と蒸着後のアニーリングが、酸化ハフニウム (HfO₂) と酸化シリコン (SiO₂) の光学フィルムに与える影響を調査した。以下のようなパラメータの解析を行った。

- ・ 金属と誘電体のスパッタターゲットがUV性能に与える影響
 - ・ 酸素 (O₂) の分圧が化学量論的組成とフィルム性能に与える影響
 - ・ イオンアシスト源とビームエネルギーがフィルムと蒸着特性に与える影響
 - ・ アニール処理が化学量論的組成、応力、最終的なフィルム特性に与える影響
- 光学コーティングを対象とした米ベeco社 (Veeco) のこのプロジェクトでは、Nd:YAG レーザを使用した。酸化物コーティングは、酸化物または金属のどちらのターゲットからでもスパッタ可能である⁽²⁾。金属ターゲットのほうが、吸収は低いスパッタレートは高い。他のフィルムパラメータが必須要件を満たすならば、スパッタレートが高いほうが、歩留まりとスループットは高くなる。O₂ の分圧は、HfO₂ を蒸着する場合の重要なプロセスパラメータである。これらの薄膜は、非化学量論性に起因する構造的欠陥が生じや

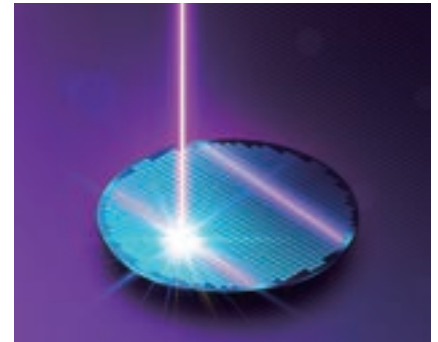


図1 UVレーザの応用分野で使われる光学部品 (画像提供: ベーコ社)

すいためである。特に、サブバンドギャップの電子状態を作り出す酸素欠損は、レーザーによる光学部品の損傷に直接的に相関する可能性がある。酸素含有量の低い非化学量論的 HfO₂ フィルムは、吸収が高く不透明で、UV レーザ光学部品として不十分である。

O₂ 分圧の実験を行ったことで、SiO₂ と酸化アルミニウム (Al₂O₃) の分圧が高いほど、成長フィルムに対するスパッタ材料のエネルギー転送は高くなることが明らかになった。これは欠陥の形成につながるため、フィルムにおける吸収の増加が問題であることを表している。蒸着プロセスには、O₂ 分圧の慎重な制御と最適化が必要である。

イオンビームエネルギーとアニーリング

イオンビームエネルギーも、重要なプロセス要素である。SiO₂ フィルム蒸着の実験では、イオンビームエネルギーを低下させると SiO₂ フィルムの吸収が低下した。これによって、レーザーシステムの性能は向上する。ただしトレードオフが存



図2 UVレーザーの応用分野で使われる光学部品(画像提供:ピーコ社)

在する。イオンビームエネルギーを低下させるとフィルム品質は向上するが、蒸着速度が低下し、それはシステムのスループットレートに影響を与える。SiO₂プロセスでは、アシストビームの使用が透過率の向上に役立つ。

HfO₂の場合は、アシストビームエネルギーの増加とともにレーザー損傷耐性が低下する。明らかに、スパッタリングエネルギーの最適化が、フィルム品質に対する重要な役割を担う。

アニーリングも、フィルム品質に対する重要な役割を担う。アニーリングは、最小限の損失と最大限のレーザー損傷耐性を得るための重要な処理工程だからである。スパッタリングプロセスにおいて、蒸着したフィルムには、高エネルギーの蒸着プロセスに起因する圧縮応力と欠陥が生じる。アニーリングは、このスパッタリング手法によって生じた張力の緩和とダングリングボンドの解消に役立つ。

アニーリングプロセスは、フィルムの化学量論的組成を少し変更することもできる。アニーリングによって、理想的には低応力のフィルムと最適な光学特性が得られるはずである。ピーコ社の研究では、アニーリングによって

蒸着フィルムの特性は改善されるが、アニーリングの時間が長すぎたり、温度が高すぎたりすると、悪影響が生じる可能性もあることが示されている。界面の粗さの増加とフィルムの結晶化は、不適切なアニーリング条件の使用による望ましくない結果の2つの例である。異なるUVレーザー応用分野に対する光学コーティングは、層構造や組成が異なる可能性があるため、各フィルム積層体に対してアニーリング時間を最適化する必要がある。

IBSを活用した光学コーティングの蒸着

ピーコ社は25年以上にわたって光学フィルムの蒸着にIBSを使用しており、UVレーザーなどの応用分野を対象とした技術の開発に取り組み続けている。同社のイオンビームスパッタリング光学コーティングシステム「SPECTOR」は、高品質フィルムの蒸着を促進することを目的に開発されており、希ガスを使用する16cmの無線周波数(RF)蒸着イオン源と、12cmのRFイオンアシスト源を備えるデュアルIBSシステムである(図3)。この組み合わせによって、バルク特性に近



図3 レーザ光学部品用のピーコ社製「SPECTOR IBS」(画像提供:ピーコ社)

い光学フィルムの蒸着が可能である。3つのターゲット材料を同時に装填することが可能で、フィルムの積層に対して最適な蒸着の柔軟性を提供する。また、蒸着源のUVグリッドは、コーティングのモリブデン(Mo)含有量を減少させる効果があり、それは、フィルム品質の向上につながる。

ピーコ社は、光学コーティングに関する同社の知識ベースを拡充して、この専門知識を顧客に伝授することに尽力している。当社のエンジニアは、社内全体の知見を高めるために協力している。ピーコ社のポートフォリオ内の他の蒸着技術からの知見を互いに取り入れることで、レーザー光学部分野の理解を深めることができるためである。

参考文献

- (1) M. Falmbigl, K. Godin, J. George, C. Mühlig, and B. Rubin, Opt. Express, 30, 12326-12336 (2022).
- (2) D. Howe, M. Falmbigl, J. George, K. Godin, and B. Rubin, Optica Technical Digest Series (Optica Publishing Group), paper WC.2 (2022).

著者紹介

ジェイソン・ジョージ(Jason George)は、米ピーコ社(Veeco)の首席製品マーケティングマネージャー、マティアス・ファルムバイグル(Matthias Falmbigl)は、同社のプロセス開発エンジニア。URL: www.veeco.com