# ブラウンノイズを10分の1に低減する結晶コーティング

超高感度干渉計と超安定レーザ光源は、共振器ミラーが優れた光学的および機械的性能をもつか否かによって決まる。ここ10年間に、高反射率非晶質多層コーティングの機械的減衰は2分の1に低減されたにすぎない。しかし、ごく最近になって、オーストリアのウィーン大学とクリスタライン・ミラー・ソリューションズ社(Crystalline Mirror Solutions)の研究者たちはJILA(the joint institute of the University of Colorado at Boulder and the National Institute of Standards and Technology)の協力を得て、直接接着させた単結晶多層コーティング、いわゆる「結晶コーティング」を実証した。これは本来的に低い機械的損失と高い光学的品質をもち、最良の従来式誘電体多層コーティングの10分の1の機械的減衰に相当する熱雑音レベルを提供する[1]。

結晶コーティングは、改善された機械的性能に加えて、優れた光学的性質も示す。実際に、このようなエンドミラーを使ったファブリ・ペロー共振器のフィネス値は15万に達した。

## 熱雑音の最小化

現在、高精度光干渉計の最大の障害は共振器コーティングのブラウン運動である。最良の二酸化ケイ素/タンタル($SiO_2/Ta_2O_5$)多層膜でさえ、高屈折率の非晶質薄膜のタンタル層中の内部損失によって過剰の機械的減衰を起こす。これは、一般的に「コーティング熱雑音」と呼ばれているもの、すなわち、熱駆動の機械的モードによるミラー面内の変位ゆらぎの原因になる。これらのゆらぎをコヒーレントに相殺するために、干渉計共振器長を伸ばし、光学モードサイズを増大し、ミラー設計を改良すれば、性能を向上させることはできる。しかしながら、これらの次善策はコーティングまたはシステム設計のさらなる複雑化と、振動感度(特に長い固体スペーサ共振器)の増大を招きかねない。

研究者たちは、共振器オプトメカニクス実験用のヒ化ガリウムアルミニウム(AlGaAs)ベースヘテロ構造の機械的運動を解析し、これらの材料が非常に高いQ値を持ち、それゆえ最小の機械的散逸を実現し、優れた低雑音コーティングとして機能しうることを明らかにした。しかし彼らは、2つの主要な製造上の挑戦に取り組まねばならなかった。すなわち、(1)通常、非晶質構造上の単結晶膜の成長を妨げる格子不整合制約の問題を解決し、(2)高性能共振器性能に要求される曲面上に、通常は平坦であるエピタキシャル薄膜を適用する方法を見つけ出すことである。

研究チームは、分子ビームエピタクシー(MBE)によってGaAs基板上に高品質エピタキシャルなブラッグミラー(膜のAl含有量で調整された高および低屈折率層を持つ標準的な4分の1波長設計)を成長させることから開始した。堆積されたエピ層は、約1064nmを中心する低透過阻止帯を生成するように設計されている。このエピタキシャル層は、小形ディスク形状において、リソグラフィ、選択ウェットエッチング、化学機械的基板除去によって真性GaAs成長ウエハから除去される。この結晶ミラーディスク(厚さ7μm弱、

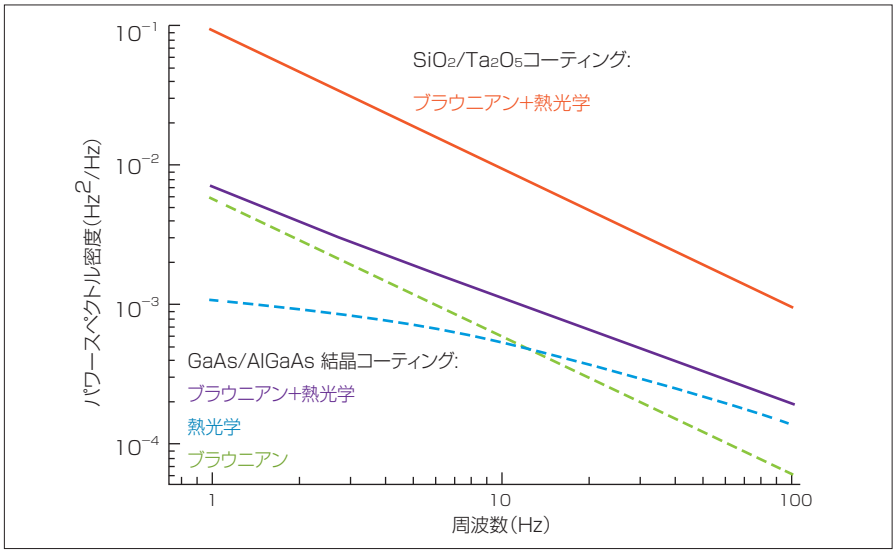


図1　従来式誘電体多層コーティング(半波長$SiO_2$キャップをもつ20周期の交互$SiO_2/Ta_2O_5$)の熱雑音をGaAs/AlGaAs結晶コーティングのそれと比較し、後者においてブラウン運動(緑色線)が10分の1に低減されていることが明瞭に確認された。オレンジ色線は誘電体多層膜の熱雑音を示し、青色線は結晶コーティングの熱雑音を示す。これらはブラウン雑音(緑色)と熱光学雑音(シアン色)の和である。

直径8mm）はファン・デル・ワールス引力を使って曲面状の溶融石英ミラー基板に直接ボンディングされ、次いでアニールされる。原理的に、このような構造は、入手可能な最大GaAs基板サイズである8インチまでの寸法で組み立てることができ、干渉計型重力波検出器などの天文学システムに対する実行可能な技術としても有用である。

これらのコーティングの熱雑音をテストするために、2枚の結晶ミラーを使って1064nmの共振器安定化レーザを構成し、1～1000秒の間、$1\times10^{-16}$の記録的安定性をもつ狭い線幅698nmのストロンチウム格子クロックレーザと比較した。この実験で、結晶多層膜のブラウン雑音は最新の誘電体多層コーティングの10分の1以下であることが確証された（**図1**）。

ウィーン大学からスピンオフしたクリスタライン・ミラー・ソリューションズ社は現在、自社開発の基板転写コーティング工程の商用化を進めており、既存の共振器安定化レーザのコーティングメーカーやシステムプロバイダーと戦略的パートナー関係を築くことに関心を寄せている。

現在クリスタライン・ミラー・ソリューションズ社にも所属する、ウィーン大学のギャレット・コール準教授は、「われわれのスケーラブルなマイクロ加工ベースのコーティング法は既存の半導体製造ツール、例えば絶縁体上シリコンウエハ用のボンディングシステムやマイクロ波トランジスタ用のMBE反応炉などを利用する」と語っている。「われわれが初期目標とする精密干渉測定市場は確かにニッチであるが、われわれのコーティングは、同じ雑音性能に対して共振器長を劇的に縮小することを可能にし、コンパクトで可搬型のサブヘルツレーザシステムの開発も夢ではない」。「これらのデバイスは、通信網におけるタイミング/周波数参照、低位相雑音マイクロ波合成、冷原子ベース慣性センサなどへの利用の観点で関心を集めるであろう」と付け加えた。（Gail Overton）


**参考文献**

（1）G. D. Cole et al., Nat. Photon., 8, 8（August 2013）.


LFWJ


# 光産業技術マンスリーセミナー

OITDA

Optoelectronics Industry and Technology Development Association

プログラム（12~1月）

| No. / 開催日 | 講演テーマ / 講師 |
|---|---|
| 第 367 回<br>12月17日(火) 15:30-17:30 | 「スーパーハイビジョン技術の最新動向」<br>講師：西田　幸博 氏<br>（日本放送協会 放送技術研究所　主任研究員） |
| 第 368 回<br>1月21日(火) 15:30-17:30 | 「テラヘルツ帯量子カスケードレーザ開発の現状とその応用」<br>講師：寳迫　巌 氏<br>（独立行政法人 情報通信研究機構 未来ICT研究所　研究所長） |

■場所　一般財団法人光産業技術振興協会
■定員　各６０名
■参加費　光協会賛助会員：1,500 円（税込み）　／　一般参加：3,000 円（税込み）
※支払いは、当日受付にて現金でお願いします。

■申込方法　オンライン申込フォーム　>>> **http://www.oitda.or.jp/main/monthly/monthly_postmail.html**
■申込締切　定員になり次第締め切ります。なお、締め切った場合には Web 上にその旨を掲載します。

問い合わせ先　一般財団法人光産業技術振興協会マンスリーセミナー担当　臼井、潮田
〒112-0014　東京都文京区関口 1-20-10 住友江戸川橋駅前ビル7F　TEL：03-5225-6431　FAX：03-5225-6435
E-mail：mly@oitda.or.jp　URL：http://www.oitda.or.jp/