

# センサのオールオプティカル極低温冷却で振動を除去

光検出器のなかには、信号対雑音比 (SNR) 低減のために、機械的極低温冷却を使用するものがある。特に、赤外 (IR) 領域 (そのような冷却器は、精密科学でも他に多くの用途がある) で動作するものに使用されており、単に液体窒素を満たしたデュワー (dewar) を使うのとは異なっている。比較的短い時間で蒸発して極低温冷却するデュワーとは違い、機械的冷却器は長期動作のために光学センサを搭載しているのです、例えば衛星で長期の遠隔利用が可能である。

しかし、機械的な極低温冷却器には問題がある。振動が発生するのである。敏感な光学検出スキームのなかには、振動が重大な障害になるものがある。(また熱電冷却器 (TEC) は、振動を発生しないが、それだけでは、室温から真の極低温までデバイスを冷却できない)。

## オールオプティカル冷却の実用化

現在、この問題に対するソリューションは米ロスアラモス国立研究所と米ニューメキシコ大の研究者が開発した。

それはオールオプティカル冷却という珍しい現象に基づいている。また、それは実用的なフーリエ変換赤外 (FTIR) 分光計<sup>(1)</sup>で、水銀・カドミウム・テルル (HgCdTe) IRセンサの冷凍機として機能している。実験セットアップは、HgCdTeセンサを135Kに冷却して維持している。

これまでに開発された最も効率的な光冷却形態は、 $YLiF_4:Yb^{3+}$  などのイッテルビウムドープフッ化物結晶のレーザー励起に依拠しており、蛍光発光は励起レーザーよりも短い波長となる。結果的に、結晶はエネルギーを失い、それを冷却する。研究グループリーダー、マンシュール=シェイク・バハエ氏 (Mansoor Sheik-Bahae) と同僚は、この現象を取り上げて実用的な形態にした。これには、洗練された機械的、熱的設計を利用し、結晶、センサ、コールドフィンガーをマウントし、それらを真空内でアエロゲル (不良熱導体) をマウントに用いて接続した (図1)。

「不定の」荷重を冷却できるキーコンポーネントは、熱リンクの設計と製造で

あった。これは、高頻度の熱サイクルに耐えながら、冷却結晶からの >99.9% の蛍光をコールドフィンガーから奪い取る」とバハエ氏は言う。「これは、Yb:YLF冷却結晶に溶着された精巧な形状のアンドープYLF結晶によって達成された。他の重要な要素が、レーザー光と冷却結晶との結合強化に関わっていた。それは、さまざまな熱負荷緩和技術だけでなく、非点収差Herriottセル利用により達成された」。

潜在的用途に関しては、同氏の考えでは、振動やマイクロフォニック・ノイズが有害な役割を果たす、>80Kの温度を必要とする極低温アプリケーションが、この技術から非常に大きな利益を得る。例えば、焦点面IRセンサや極低温顕微鏡である。「さらに具体的に言えば、最も差し迫った有望なアプリケーションは、我々の次世代光冷凍機とNIST (米国標準技術局) のシリコン基準キャビティとの統合に関わる。シリコン基準キャビティは、レーザーを数十mmHz線幅で安定させるために利用される。このアプリケーションについては特に楽しみにしてい

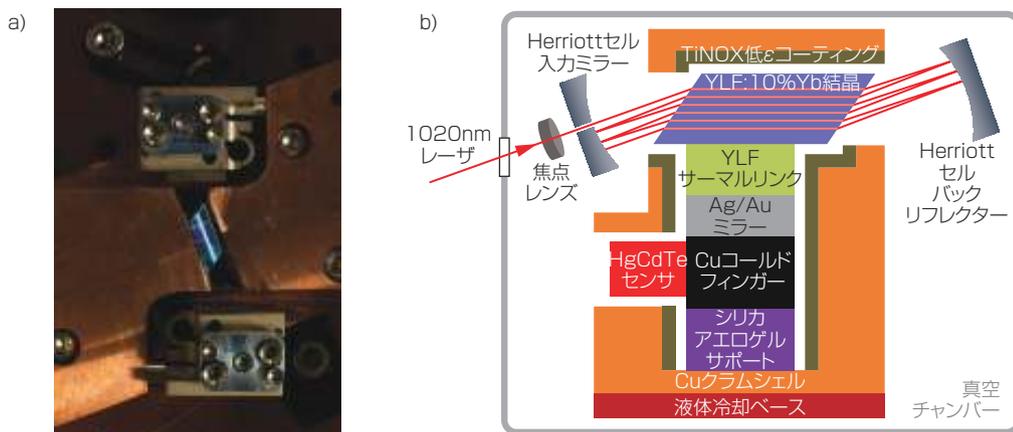


図1 光冷却器は、 $YLiF_4:Yb^{3+}$  結晶 (a) をレーザー冷却することで振動を発生することなく、HgCdTe を極低温に保つ。アンドープYLF結晶は、熱リンクとして役立つ。レーザー生成の蛍光がTiNOX被覆クラムシェル表面に投入される (b)。134.9Kまで冷却されるその光センサは、米ミダック社 (Midac) が製造した商用FTIR分光計の一部である。HgCdTe光センサの始動により、2.5Kで加熱される (推定8mWの熱負荷)。

る。これによって、多くの高精度計測アプリケーションにとって、並外れたクロックが利用できるようになるからである。大きなフットプリントや面倒な液体ベースの冷凍機は不要になる」とバハエ氏は言う。

短期間において(1年か2年以内)、同氏のグループは、コンパクトで頑丈なアーキテクチャでワットレベルの熱リフト(除去)に迫れるシステムの実現を考えている。長期的改良には、蛍光リサイクルと他の希土類ドーパ結晶(例えば、 $Tm^{3+}$ )を冷却材料に利用することによる効率向上が含まれている。

「言うまでもなく、温度を70Kに下げ、さらに低くすることは常に我々の課題である。不純物の役割の理解、信頼度

の高い一貫した手順で高純度の結晶を成長させる能力は、こうした目的達成では、極めて重要である。ロスアラモス国立研究所のマルクス・ヘーレン氏(Markus Hehlen)、伊ピサ大のマウロ・トネリ氏(Mauro Tonelli)と協働して、我々は系統的な結晶成長アプローチも追求し、冷却結晶で寄生加熱を起こす遷移金属不純物の役割を理解しようとしている」。

### 商業的見通し

「我々は現在、アルバカーキの地元スタートアップ企業サーモダイナミック・フィルムズ社(Thermo-Dynamic Films、リチャード・エプスタイン社長[Richard Epstein])と提携しており、同社は商

業面を担当する。我々は、ACマテリアルズ社(フロリダ州の結晶成長会社)とも密接に協力している。高品質冷却グレード結晶を成長させる同社の専門技術は有用である。他に付け加えると、光学冷凍機の最も高価なコンポーネントは、現状ではレーザーである。朗報は、過去わずか5年で、そのようなYbファイバレーザのコスト(ドル/ワット)が約6倍下がったことである。要するに、商用化展望は非常に有望である」とバハエ氏は語っている。

(John Wallace)

### 参考文献

(1) M. P. Hehlen et al., Light Sci. Appl., 7, 15 (2018); <https://doi.org/10.1038/s41377-018-0028-7>.

LFWJ

## THE FUTURE DEPENDS ON OPTICS



NEW

TECHSPEC® Nd:YAG  
ハーモニックセパレーター



- Nd:YAG高調波の分離に使用
- 95%を超える透過率が得られるビームスプリッター用コーティング
- $\lambda/10$ の平面度を持つ合成石英製基板を使用

エドモンド・オブティクス・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 E-mail: sales@edmundoptics.jp

Edmund  
optics | japan

詳しい情報はこちらへ:

[www.edmundoptics.jp/118-8154](http://www.edmundoptics.jp/118-8154)