

カルコゲナイドガラスが赤外線技術で、先端応用分野の基盤に

ゲルノット・ウェバー

品質の高い赤外線ガラスに対する新たな需要が生まれ、その入手可能性が高まったことにより、さらに小型かつ軽量で、内部冷却システムを必要としない光学設計が可能になる。

カルコゲナイド赤外線ガラス (IRG) (カルコゲナイド)は何十年の間、「エキゾチックなもの」と考えられていた。IR波長に依存する、どちらかという少数の用途に対しては、他のIR材料でうまく対応できたため、カルコゲナイドの需要はかなり限定されていた。需要が低いためにこの材料を製造するのは小規模企業に限られ、そうした小規模企業は、製品の技術的詳細を示したり、再現可能な一貫した結果を生成したりするのが困難だった。その結果、需要が低いためにその材料は入手しに

くく、従って光学設計者や製品研究者は、カルコゲナイドを新製品の材料ソリューションとして実験または調査したいと思わないという、予言の自己実現が起きていた。

新しい一連の潜在的用途と、より小型かつ軽量で、比較的高価な内部冷却システムを必要としないIR設計に対する関心の高まりによって、カルコゲナイドガラスに対する新たな関心が生み出されている。それに伴って、新たな需要が生まれ、品質の高い材料が入手しやすくなり、カルコゲナイドガラス

の技術的詳細がさらに深く解明されている(図1)。

波長と用途の対応付け

用途の開発という目的において、IR帯域は一般的に、短波長赤外線 (SWIR)、中波長赤外線 (MWIR)、長波長赤外線 (LWIR)という3つのスペクトル帯に分割される。帯域ごとにメリットとデメリットがあるため、帯域によって適する用途は異なる。

SWIR (波長: 約1~3 μ m)は、最もクリーンな画像を生成する傾向にある。可視光と同様に、対象物によって光子が反射、吸収、散乱されることで、高い解像度に必要な高いコントラストが生成されるためである。SWIRを処



図1 ペンシルベニア州デュリエにあるショット社の施設では、アイルーペ、標準的な白色光干渉計、テストめっきを用いて、作製した材料の詳細検査を行う。

理するセンサは、非常に高額である場合が多い。このトレードオフに基づき、SWIRを利用する用途は、偽造防止、プロセス品質管理、医用イメージング、半導体製造など、高価値分野に一般的に集中している。

MWIR(波長:約3~5 μm)は、急激な温度変動の検出と大気条件からの散乱の回避に最適である。MWIRシステムは内部冷却が必要である場合が多く、より高額になる。MWIRシステムは希少品であり、防衛(戦闘機の排気の識別)や産業用サーモグラフィといったミッションクリティカルな用途に一般的に用いられる。

LWIR(波長:約8~14 μm)は、用途の範囲が最も広く、特に民間セキュリティの分野で用いられる。LWIRカメラは主に、物体の表面温度特性を高い精度で測定するために用いられ、そうしたシステムは、物体が遠く離れていたり周囲が真っ暗であったりしても、熱放射を可視化することができる。LWIRの画像解像度はかなり低い場合もあるが、それでもLWIRは、建物検査、サーマルイメージング監視、個人用暗視カメラ、消防士用の捜索救助ツール、その他の低コストの非冷却システムなどの用途に用いられることが多い。

ここ数年間、ほとんどのIRシステムの主な適用先は、軍用や産業の分野に限られていた。しかし、IRカメラの利用が他の分野にも広がりつつある、一般的な傾向がうかがえる。独ショット社(SCHOTT)は、民間セキュリティ装置、日用品レベルの家電製品、そして、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)に対する予防策として組織や企業で使用されている非接触型のIRサーモメーターに、高まる可能性を見出している。(図2)。

しかし、SWIRとMWIRに伴う冷却



図2 研磨された球状のプリフォームは、IRカメラシステム用の非球面レンズの高精度な成形によって作成されている。このようなレンズや光学システムは現在、新型コロナウイルスの世界的感染拡大で需要が高まっており、体温を測定し、ウイルス感染検査が必要かどうかを判定するための非接触型のサーモメーターに使われている。

システムとプロセッサのコストを考えると、設計者の対象はLWIRシステムに絞られる可能性がかなり高い。幸い、LWIRを利用する場合は、光学設計がさほど複雑ではなく、量産可能な材料が使用できる。また、そうした材料を互いに組み合わせて、最適なイメージング性能を達成することができる。

材料と用途の対応付け

IRカメラを設計する際の2つめの検討項目は、レンズシステムに使用する材料である。暗視装置、サーマルイメージングカメラ、モーション制御システム、パイロメーター、診断装置など、どのようなIRイメージングシステムであっても、システムに使用される光学材料は、非常に特殊な要件を満たす必要がある。

一般的なソーダ石灰ガラスや、他の業界で用いられる特殊ガラスを含め

て、多くのガラス材料が、LWIRとMWIRを透過しない。従って、それらの材料は上述の用途に適さない。IR放射が透過しないのは、ガラスマトリックスの分子振動(これはケイ素と酸素の結合に関連する)によって吸収されるためである。カルコゲナイドガラスでは、シリコン(ケイ素)が金属または半金属(ヒ素、ゲルマニウム、アンチモン、ガリウムなど)に置換され、酸素が硫黄、セレン、テルル(周期表上のカルコゲン)に置換されている。カルコゲナイドガラスの製造において、半金属がカルコゲンと混合される。これにより、最終形状に成形・加圧可能な非晶構造が得られる。

任意の形状に成形可能というカルコゲナイドガラスの性質は、ゲルマニウム、硫化亜鉛、セレン化亜鉛、シリコンベースの材料といった、より一般的な材料にはない重要な材料特性であ

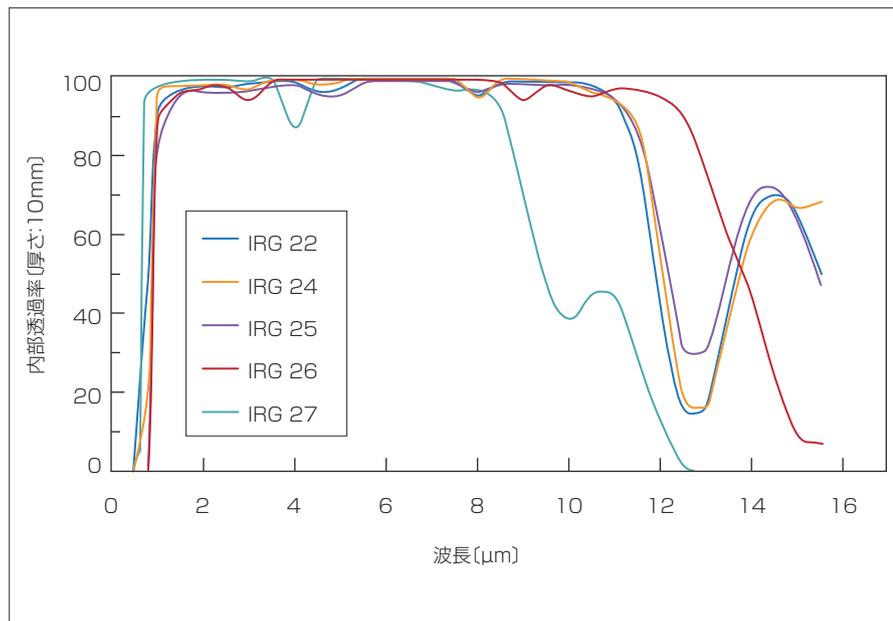


図3 さまざまなIRカルコゲナイドガラスのスペクトル透過特性。

る。結晶構造を持つこれらの材料は、用途によってはSWIR、MWIR、LWIRの波長においてかなり高い性能を示す。しかし、これらの材料は、エンドユーザーが求める形状に近い形で製造するか、研削と研磨によって最終形状にする必要があり、それは時間のかかる処理で、量産市場には向かない。シングルポイントダイヤモンドターニングも、そうした材料の多くから光学部品を製造するための手段の1つである。

これらのIR材料にはメリットもある。例えば、ゲルマニウムレンズは、ダイヤモンドのようなコーティングに最適な基材であるだけでなく、屈折率が高いので光学パスを短くすることができる。硫化亜鉛は、可視光域から約19 μm までと、透過域が非常に広い。

非冷却IR検出器の分野は絶えず進歩しているため、十分に定義された熱特性を持つ材料に対する需要が絶えず存在する。

1つめの熱特性は、屈折率の温度係数(dn/dT)である。この特性は、関連温度範囲内の熱に対する材料変化の

屈折率の度合いを表す。 dn/dT が低い材料を使用するシステムは、温度変動時の画像の劣化を防ぐために、他の方法でそれを補償する必要がある(それによって複雑さが増してしまう)。ゲルマニウムやシリコンレンズは、 dn/dT が特に低い。一方、カルコゲナイドガラスはこの点においてははるかに優れた性質を備える。

2つめの熱特性は、熱膨張率(Coefficient of Thermal Expansion: CTE)である。これは、温度変化に対する材料の膨張または収縮の度合いを表す。IRガラスのCTEはアルミニウムと一致するため、例えば、リング状のアルミニウム枠の中にレンズを配置するなどの処理が非常に容易である。ちなみに、関連温度範囲内のゲルマニウムのCTEは $5.8 \times 10^{-6}/\text{K}$ 、アルミニウムは $23.1 \times 10^{-6}/\text{K}$ 、IRG 26ガラスは $21.4 \times 10^{-6}/\text{K}$ である。

従来、硫化亜鉛やセレン化亜鉛など

の結晶は、分散特性に対応させるのが難しいために、色補正システムには適さなかった。しかし、カルコゲナイドガラスを使用すれば、それらの結晶を含む色補正システムが可能となる。

イメージング光学系に対する新しい要件

IRカメラ業界における絶え間ないイノベーションによって、新しい用途への道が切り拓かれている。家電製品に見合った価格で高い性能を備える材料を絶えず追求する中で、イメージング光学系に対する要件が必然的に変わったことを業界は認識している。技術的特性や物理的特性だけでなく、IR材料のコストと処理に対する要件も変化している。

波長範囲における広い透過域(図3)、異なる温度における安定した透過性、IR波長における一貫した分散性、低い dn/dT などの特性は、多くの光学設計者がこれまで得ることのできなかった、製品開発の技術的要件である。そこで企業各社は、エンジニアや光学設計者が製品開発のために評価可能な材料データの作成に、着手し始めた。

しかし、低コストのIR光学部品を量産市場に供給するには、部品製造において異なる製造プロセスへの移行が必要である。結晶光学材料とは異なり、カルコゲナイドガラスは、低コストでの加工可能性を高める材料特性を備えるため、部品をコスト効率よく量産することができる。

結果としてIRガラスは、光学システムにおける革新的なソリューションの実現に大きく貢献し、赤外線技術の成長著しい分野に対応することができる。

著者紹介

ゲルノット・ウェバー (Gernot Weber) は、独シヨット社(SCHOTT)の赤外線ガラス担当ワールドワイドプロダクトマネージャー。e-mail: gernot.weber@schott.com URL: www.schott.com