

ITERダイバータ赤外サーモグラフィのレンズ材料のガンマ線及び中性子照射による中赤外光学特性の影響評価

Evaluation of gamma-ray and neutron irradiation effects on mid-infrared optical properties of lens materials for divertor thermography system in ITER

牛木知彦¹、今澤良太¹、村上英利¹、清水宏祐¹、杉江達夫²、岡崎宏之¹、北澤真一¹、
石川正男¹、波多江仰紀¹

Tomohiko USHIKI¹, Ryota IMAZAWA¹, Hidetoshi MURAKAMI¹, Kosuke SHIMIZU¹, Tatsuo SUGIE², Hiroyuki OKAZAKI¹, Sin-iti KITAZAWA¹, Masao ISHIKAWA¹, Takaki HATAE¹

量研¹、株式会社NAT²

¹QST, ²NAT Co., Ltd.

ITERダイバータ赤外サーモグラフィ (IRTh) では高い放射線環境下にミラー及びレンズを配置するため、ITERでの全運転期間を通して顕著な光学特性の劣化がない光学材料の選定及び遮蔽設計が必要不可欠となる。IRThでは色収差の補正のためCaF₂、ZnSe (もしくはZnS)、Siの3種類の材料の組み合わせでレンズユニットを構成することを想定している。今回は上記材料のITERでの使用可能性の評価及び使用に必要な遮蔽設計の指標を得ることを目的とし、それぞれの硝材サンプルに対するガンマ線及び中性子照射を実施し、その前後の光学特性の計測から中赤外領域 (IRThの観測波長: 1.5 μm-4.5 μm) における放射線耐性を評価した。各材料に対する評価の概要を以下に示す。

CaF₂は過去に実施した予備試験の結果からメーカーやグレードによる放射線耐性のばらつきが予測されたため、実機で使用可能なメーカーやグレード等の選定のため、計7種類の異なるメーカーまたはグレードのサンプルを用意し放射線耐性を評価した。5.8 MGyのガンマ線照射、5.0×10¹⁶ n/cm²の中性子照射を実施したいずれの場合でも、一部のサンプルを除きIRThの波長領域における (1mmあたりの) 内部透過率の劣化は0.5%程度であり、計測系に対し顕著な影響を与えないことが分かった。さらに、照射前のサンプルの真空紫外の透過率を評価指標に用いることで、一部の粗悪な放射線耐性を持つ材料を非破壊で選別できることを明らかにした。

ZnSe及びZnSは最大5.0×10¹⁵ n/cm²までの中性子照射において顕著な透過率劣化は見られなかった。しかし、5.6 MGyまでのガンマ線照射において3μm付近の波長帯に数%程度の透過率劣化が観測された。吸収帯の中心波長から本吸

収はガンマ線照射によって生じた水酸化物による影響が疑われ、X線光電子分光 (XPS) 法による分析からも照射後サンプル表面での水酸化物の存在が確認された。しかし、異なる表層深さに対するXPS分析から、水酸化物による浸食は硝材の深部までは及んでおらず、表層に止まることが示唆される。これはガンマ線照射によるZnSe及びZnSの透過率劣化は硝材の厚みではなく、使用するレンズの枚数 (光学面の数) に依存することを示している。このことからレンズの厚みを問わず5.6 MGyでの透過率劣化は3μm付近の波長帯の数%程度のみであると見込まれるため、計測系に対し顕著な影響を与えないことが予測される。

Siは先行研究から中性子照射により中赤外領域に複数のカラーセンターをつくることが広く知られているが [1]、中性子のfluenceと透過率劣化の程度の関係性を示す詳細な研究はなく、ITERでの使用可能性は不明だった。5.9 MGyのガンマ線照射では顕著な透過率劣化は見られなかった。しかし、5.0×10¹⁶ n/cm²の中性子照射では[1]の文献で示唆される1.8μm、1-1.2μm付近をカラーセンターとした顕著な透過率劣化が見られた。5.0×10¹⁶ n/cm²に及ぶまでの複数の照射fluenceにおける透過率の劣化の推移の評価から、上記の吸収は5.0×10¹⁵ n/cm²から顕著になっており、2.5×10¹⁵ n/cm²までは問題なく使用できることが分かった。このfluenceはレンズ周りの遮蔽設計で十分に実現が可能な値であるといえ、実機で使用できる見込みを得た。

[1] L. J. Cheng and J. C. Corelli, Phys. Rev. 152, No.2, 761-774 (1966).