

Ứng dụng vật liệu Chalcogen trong thiết kế vật kính của thiết bị ảnh nhiệt

Lê Ngọc Cường*, Thái Hoài Sơn, Trần Quốc Tuấn

Viện Vật lý Kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: cuonglengoc1601@gmail.com

Nhận bài: 10/9/2023; Hoàn thiện: 15/11/2023; Chấp nhận đăng: 21/11/2023; Xuất bản: 25/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.92.2023.171-174>

TÓM TẮT

Vật liệu Chalcogen đã được nghiên cứu cách đây khoảng 50 năm nhưng phải đến vài thập kỷ qua các vật liệu thủy tinh Chalcogen mới được chế tạo và ứng dụng trong lĩnh vực quang điện tử. Bài báo này trình bày một số tính chất và khả năng ứng dụng của vật liệu Chalcogen trong thiết kế và chế tạo vật kính của thiết bị ảnh nhiệt, đưa ra kết quả nghiên cứu thiết kế vật kính ảnh nhiệt sử dụng vật liệu Chalcogen.

Từ khóa: Thiết bị ảnh nhiệt; Thiết kế vật kính; Vật liệu tinh thể; Vật liệu Chalcogen; Zemax.

1. GIỚI THIỆU

Thiết bị ảnh nhiệt (TBAN) đang dần phổ biến trong mọi lĩnh vực, từ thiết bị phục vụ cho mục đích dân sự như đo thân nhiệt bệnh nhân, phát hiện cảnh báo đám cháy, tìm kiếm người sống sót trong các đám cháy đến các thiết bị quân sự nhìn đêm và tên lửa tầm nhiệt,... Có thể nói, TBAN đã dần trở thành một phần không thể thiếu trong cuộc sống của thế kỷ 21.

Việc thiết kế các TBAN phụ thuộc vào hai thành phần chính là đầu thu bức xạ và cụm vật kính thu nhận bức xạ nhiệt [1]. Vật kính ảnh nhiệt (VKAN) thường được chế tạo từ các vật liệu tinh thể như Germani, Kẽm selenua, Silic [2]. Các vật liệu này được khai thác từ nguồn quặng tự nhiên và đang dần cạn kiệt, ngoài ra, việc phụ thuộc vào các yếu tố chính trị và kinh tế cũng gây trở ngại lớn cho việc tiếp cận vật liệu chế tạo VKAN.

Vật liệu thủy tinh vô định hình dựa trên các thành phần của họ nguyên tố Chalcogen đã được nghiên cứu để từng bước thay thế cho các vật liệu tinh thể truyền thống. Các vật liệu Chalcogen này có thể cho chất lượng hình ảnh của TBAN được cải thiện, với khối lượng nhẹ và khả năng cung ứng được dễ dàng hơn [3].

2. VẬT LIỆU CHALCOGEN ỨNG DỤNG CHO THIẾT BỊ ẢNH NHIỆT

2.1. Khái niệm về vật liệu Chalcogen

Chalcogen (Chalcogenide) bắt nguồn từ tiếng Hy Lạp “chalcos” có nghĩa là quặng và “gen” có nghĩa là sự hình thành. Nhóm Chalcogen là cách gọi các nguyên tố thuộc nhóm 16 trong bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học, bao gồm Ôxy, Lưu huỳnh, Selen, Telu và Plutoni.

Vật liệu chalcogen sử dụng trong quang học (thủy tinh Chalcogen) là hợp chất vô cơ tạo ra từ sự kết hợp của các nguyên tố thuộc nhóm Chalcogen với các nguyên tố khác như Germani, Asen, Antimon, Gali,... [3]. Thủy tinh chalcogen được biết đến từ nhiều năm trước đây, nhưng so với thủy tinh silicat truyền thống thì ứng dụng của nó trong quang học còn mới mẻ, chưa phổ biến.

Hiện nay, đã có một số hãng thủy tinh lớn trên thế giới sản xuất thủy tinh bằng vật liệu Chalcogen, điển hình là một số hãng: Schott, Vitron, Amorphous Materials, Umicore [3, 4].

2.2. Một số tính chất của vật liệu Chalcogen

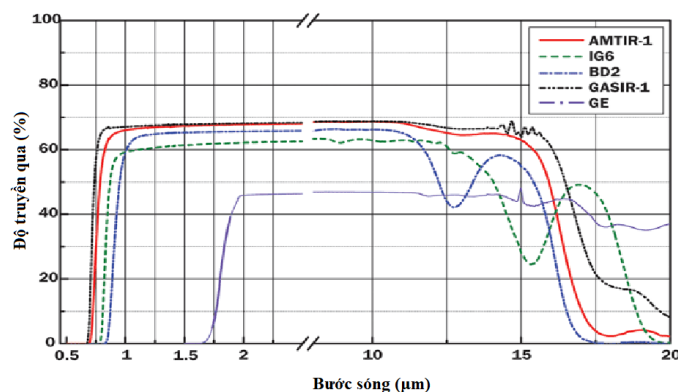
Xét về phương diện hóa học, vật liệu Chalcogen được hình thành từ các liên kết cộng hóa trị giữa chalcogen và một nguyên tố nhóm 14 hoặc 15. Điều này dẫn đến chúng có hệ số truyền qua dải hồng ngoại phụ thuộc vào thành phần và tỷ lệ của nguyên tố chalcogen. Một số tính chất hóa học của chúng sẽ ảnh hưởng đến tính chất vật lý và quang học của vật liệu đặc biệt này.

Một số tính chất vật lý và quang học quan trọng của vật liệu thủy tinh Chalcogen điển hình và

vật liệu tinh thể Germani được trình bày trong bảng 1 và hình 1.

Bảng 1. Một số tính chất vật lý và quang học của vật liệu Chalcogen và Germani [3].

Vật liệu	Chiết suất (tại 10 μ m)	Hệ số thay đổi chiết suất theo nhiệt độ dn/dt (dn/dt) $\times 10^{-6}K^{-1}$	Khối lượng riêng (g/c 3)	Nhiệt độ chuyển tiếp ($^{\circ}C$)
AMTIR-1	2,4981	72	4,4	362
IG6 (IRG26)	2,7775	41	4,63	185
GASIR-1	2,4944	55	4,4	292
Germani	4,0052	400	5,33	-



Hình 1. Dải phổ truyền qua của các vật liệu Chalcogen và tinh thể Germani [3]

Từ các tính chất đưa ra ở trên có thể nhận xét về tính ứng dụng của thủy tinh Chalcogen trong quang học như sau:

- Thủy tinh Chalcogen có đặc tính quang học phù hợp cho vật liệu vùng hồng ngoại vì vùng phổ cho qua của nó rất rộng từ hồng ngoại bước sóng ngắn (SWIR) đến sóng trung (MWIR) và sóng dài (LWIR); hệ số truyền qua của chúng trong dải phổ hồng ngoại cao hơn so với vật liệu tinh thể Germani.

- Thủy tinh Chalcogen có hệ số thay đổi chiết suất theo nhiệt độ thấp (bảng 1). Do đó các VKAN sử dụng vật liệu chalcogen sẽ ổn định tiêu điểm hơn so với VKAN sử dụng vật liệu tinh thể Germani khi nhiệt độ thay đổi.

2.3. Công nghệ gia công các loại thủy tinh Chalcogen

Việc tạo phôi cho các thủy tinh Chalcogen tương tự với quá trình tạo phôi của tinh thể Germany (mài và định tâm). Sau đó, để chế tạo ra các thấu kính cần đánh bóng phôi hoặc tiện phôi bằng dao tiện kim cương đơn điểm (SPDT) [4]. Chất lượng bề mặt của thấu kính Chalcogen gia công bằng công nghệ SPDT đạt độ nhám bề mặt trung bình thường nhỏ hơn 25 angstrom, độ không đồng đều bề mặt nhỏ hơn 0,5 vòng quang ở bước sóng 632,8 nm [4].

Thấu kính Chalcogen có thể đúc, tuy nhiên, công nghệ đúc thấu kính Chalcogen bị giới hạn bởi kích thước đúc, thường nhỏ hơn 25 đến 30 mm. Ngoài ra, do giá thành đắt đỏ khi chế tạo khuôn đúc nên công nghệ đúc chỉ phù hợp với việc sản xuất các thấu kính Chalcogen nhỏ với số lượng lớn [4].

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VẬT KÍNH ẢNH NHIỆT SỬ DỤNG VẬT LIỆU CHALCOGEN

3.1. Mô hình thiết kế

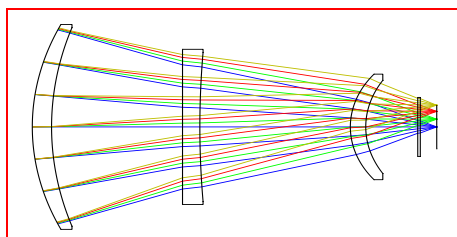
Cụm vật kính ảnh nhiệt được thiết kế cho thiết bị ảnh nhiệt sử dụng đầu thu Tau2 (Flir) với các tham số vật kính cơ bản như sau [1]:

- Tiêu cự (f) : 75 mm;
- Khẩu độ (F#): 1:1,2;
- Thị giới (2ω): $10,36^0$.

3.2. Thiết kế và so sánh hệ quang vật kính ảnh nhiệt bằng phần mềm Zemax

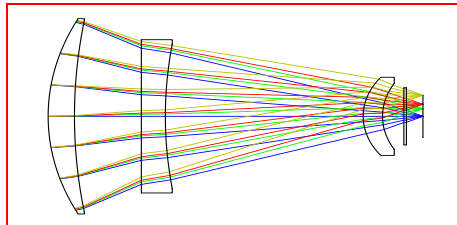
Sử dụng phần mềm thiết kế quang học Zemax để thiết kế vật kính. Nhóm nghiên cứu sử dụng hệ xuất phát là hệ quang đã thiết kế gồm vật liệu Germani và ZnSe, có thông số, kết cấu và chất lượng đưa ra ở hình 2a [1]. Trong quá trình thiết kế cần quan tâm đến các thông số hình học cũng như vật liệu của thấu kính như: chiều dày thấu kính, bán kính, khoảng cách giữa các thành phần, vật liệu thủy tinh,...

Surf>Type	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	
OBJ	Standard	Infinity		Infinity	0.000	
1*	Standard	77.047 V	5.000	GERMANIUM	33.000 U	0.000
2*	Standard	99.237 V	34.000			
3*	Standard	Infinity	4.500	ZNSE	25.000 U	0.000
4*	Standard	346.230 V	39.070 V		24.000 U	0.000
5*	Standard	26.563 V	4.000	GERMANIUM	17.000 U	0.000
6*	Standard	27.624 V	13.500		15.000 U	0.000
7*	Standard	Infinity	0.660	SILICON	9.500 U	0.000
8*	Standard	Infinity	4.270		9.500 U	0.000
IMA	Standard	Infinity	-		7.054	0.000



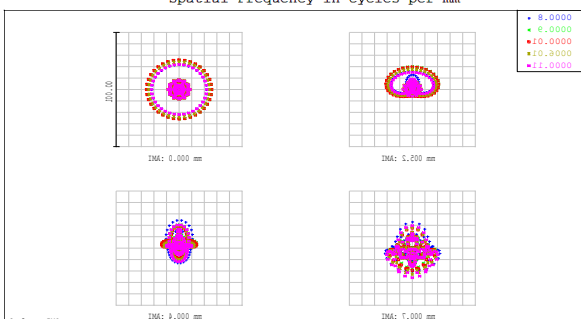
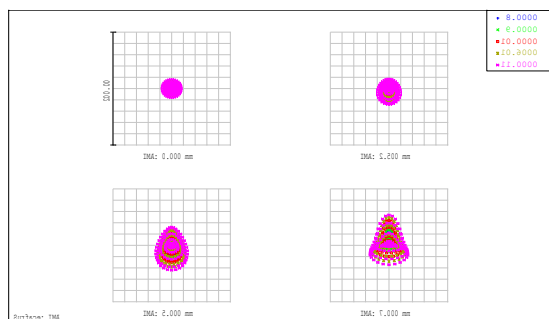
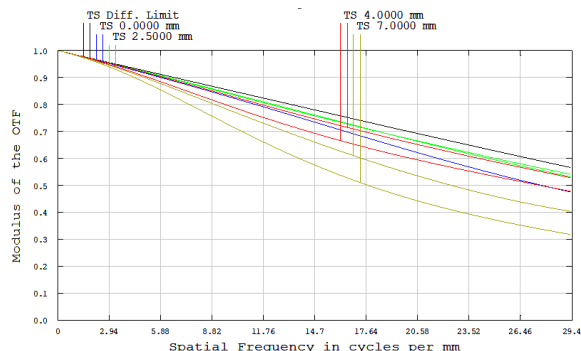
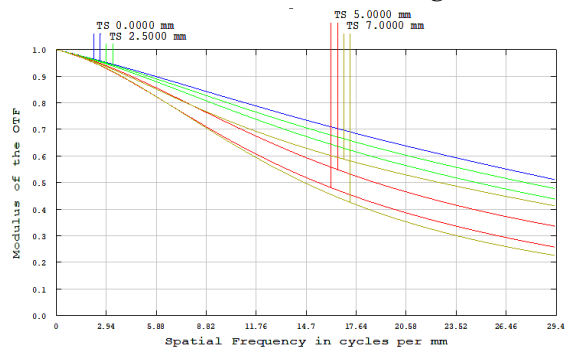
a) Sử dụng vật liệu tinh thể Ge và ZnSe.

Surf>Type	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	
OBJ	Standard	Infinity		Infinity	0.000	
1*	Standard	72.143 V	6.800	IRG24	32.500 U	0.000
2*	Standard	200.722 V	17.271 V		32.000 U	0.000
3*	Standard	Infinity	6.200	IRG27	25.500 U	0.000
4*	Standard	162.531 V	51.088 V		24.000 U	0.000
5*	Standard	20.949 V	5.000	IRG23	13.000 U	0.000
6*	Standard	21.511 V	5.500		11.000 U	0.000
7*	Standard	Infinity	0.660	SILICON	9.500 U	0.000
8*	Standard	Infinity	4.270		9.500 U	0.000
IMA	Standard	Infinity	-		7.023	0.000



b) Sử dụng vật liệu Chalcogen.

Hình 2. Thông số và kết cấu của vật kính ảnh nhiệt.



a) Sử dụng vật liệu tinh thể Ge và ZnSe.

b) Sử dụng vật liệu Chalcogen.

Hình 3. Hàm truyền MTF và sơ đồ tán xạ điểm của vật kính ảnh nhiệt.

Thực hiện tối ưu thiết kế vật kính với thủy tinh Chalcogen cho kết quả vật kính có thông số và chất lượng thể hiện trong hình 2b.

Hình 3 cho thấy, giá trị hàm MTF của vật kính được thiết kế từ vật liệu Chalcogen tại tần số $29,4 \text{ mm}^{-1}$ đều lớn hơn 0,3 trên toàn bộ thị giới; tán xạ điểm nhỏ hơn mức giới hạn $50 \mu\text{m}$. Các thông số này phù hợp với các yêu cầu về chất lượng khi thiết kế cụm vật kính ảnh nhiệt [1, 5].

So với chất lượng hệ quang xuất phát sử dụng vật liệu tinh thể Ge và ZnSe, hệ vật kính sử dụng vật liệu Chalcogen có chất lượng tốt hơn (giá trị hàm truyền MTF cao hơn và tán xạ điểm nhỏ hơn).

Tổ hợp vật liệu có thể đảm bảo khử quang sai của hệ quang, việc lựa chọn vật liệu trong thiết kế có thể thực hiện qua tối ưu hóa toàn cục. Để nâng cao chất lượng hệ thống có thể sử dụng một số mặt phi cầu trong kết cấu của các thấu kính.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, với các tính chất vật lý và quang học của vật liệu Chalcogen thì việc thiết kế, chế tạo cụm vật kính sử dụng vật liệu chalcogen là hoàn toàn khả thi. Ứng dụng vật liệu Chalcogen mở ra một hướng nghiên cứu mới về công nghệ thiết kế, gia công, chế tạo vật kính ảnh nhiệt tại Việt Nam thay thế cho các vật kính ảnh nhiệt sử dụng vật liệu tinh thể truyền thống.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí của đề tài "Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống giám sát ngày đêm cho lực lượng Biên phòng cửa khẩu cảng trên địa bàn Thành phố Hải Phòng" để hoàn thiện bài báo trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Ngọc Cường, Trần Quốc Tuấn, Lê Văn Hoàng, "Thiết kế chế tạo kính ngắm ảnh nhiệt sử dụng dầu thu không làm lạnh cho súng tiểu liên AKn", Tạp chí Kỹ thuật và Trang bị. Số 243, (2020).
- [2]. José Sasián, "Introduction to Lens Design", Cambridge University Press, (2019).
- [3]. Myeong Nam, Joseph Washer and Jacob Oh, "Breaking the Mold: Overcoming Manufacturing Challenges of Chalcogenide Glass Optics", Photonics Spectra, (2015).
- [4]. Pravin Kumar Singh & D. K. Dwivedi, "Chalcogenide glass: Fabrication techniques, properties and applications", Ferroelectrics, Vol. 520, 256–273, (2017).
- [5]. C. Pleșa, N. Guzulescu, A. Jitaru. "Evaluation of chalcogenide lenses used in thermal vision systems". Chalcogenide Letters. Vol. 14, No. 10, (2017).

ABSTRACT

Application of Chalcogenide materials in the optical design of thermal imaging devices

Chalcogen materials were researched about 50 years ago, but it was not until the last few decades that Chalcogen glass materials were manufactured and applied in optoelectronics. This article presents some properties and potential applications of Chalcogen materials in the design and fabrication of optics for thermal imaging devices and provides the research results for the design of thermal imaging optics using Chalcogen materials.

Keywords: Thermal imaging devices; Optical design; Crystalline materials; Chalcogen materials; Zemax.