بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

استخراج دمای بحرانی بر شفافیت اپتیکی فیوزسیلیکا با آزمون عملی تا دمای بالای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد

محمد اسدنژاد[۱]، مجید عباس آبادی[۱] و فائزه جدیدی[۱]

[۱]مرکز تحقیقات پژوهشی مجتمع دانشگاهی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

چکیده - یکی از ملاحظات مهم در طراحی سامانه‌های تصویربردار الکترواپتیکی، اثرات دمایی بر شفافیت پنجره اپتیکی است. در این مقاله با مطالعه و بررسی خواص ماده اپتیکی فیوزسیلیکا و آزمون عملی تا دمای بالای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، قابلیت استفاده این ماده در این بازه دمایی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون نشان می‌دهد که فیوز سیلیکا در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد خواص اپتیکی خود را از دست می‌دهد، اما با تکرار آزمون در دماهای پایین‌تر، دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، به‌عنوان دمای بحرانی برای شفافیت اپتیکی فیوزسیلیکا استخراج گردید.

کلید واژه- شفافیت اپتیکی، دمای بحرانی، فیوزسیلیکا و ارزیابی تصویر.

Extraction of critical temperature on optical transparency of Fused Silica with practical test above of 1200 °C

Mohammad Asadnezhad[1], Majid Abbasabadi[1], and Faezeh Jadidi[1]

[1]Research Institute of Department of Electrical and Electronic Engineering, Maleke-ashtar University of Technology, Tehran

Abstract- The effect of temperature on transparency of optical window is one of the important points in designing of Electro-Optical systems. In this paper by studying the optical features of Fused Silica and practical testing up to 1200 °C, the ability of using this material in this temperature range was studied. Results of this test show that Fused Silica in 1200 °C can't sustain its optical features. By repeating the test in lower temperature, the critical temperature of optical transparency of Fused Silica obtained 1100 °C.

Keywords: Optical Transparency, Critical Temperature, Fused Silica, Image Analysis.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

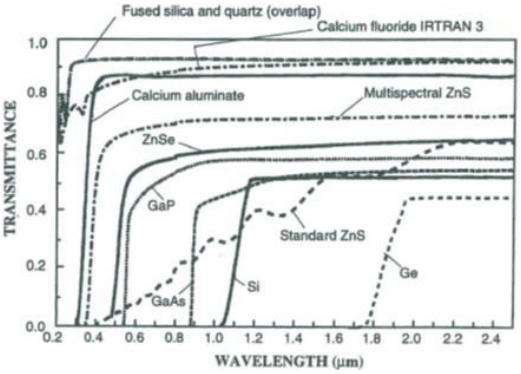
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-19]

۱- مقدمه

انتخاب پنجره اپتیکی برای یک سامانه تصویربرداری، در نگاه اول یک فرایند ساده و تکنولوژی پایین به‌نظر می‌رسد. درحالی‌که یکی از بخش‌های مهم در طراحی و ساخت سامانه‌های تصویربرداری است. انتخاب جنس پنجره اپتیکی شدیداً وابسته به طیف عملکرد آشکارساز، شرایط عمکردی و ملزومات دیگر مانند تداخل الکترومغناطیسی و ... است[۱]. شفافیت اپتیکی به دو دلیل تحت تاثیر قرار خواهد گرفت[۲]: ۱- تابش پنجره اپتیکی به علت دمای بالای پنجره ۲- صدمه دیدن پنجره در دمای بالا. در این تحقیق جهت استفاده از دوربین در کوره‌های ذوب فلزات با دمای بسیار بالا، با آزمون عملی به بررسی این ملاحظات خواهیم پرداخت.

۲- خواص ماده اپتیکی فیوزسیلیکا

ماده اپتیکی فیوزسیلیکا یکی از نامزدهای مناسب برای قرار گرفتن به‌عنوان پنجره اپتیکی در سامانه‌های تصویربردار واقع در محیط‌های با دمای بالا، به‌شمار می‌آید[۳-۴]. دمای ذوب این ماده برابر ۱۷۱۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. همچنین سختی آن برابر با ۴.۵ GPa است[۵]. در شکل (۱) طیف عبوردهی فیوزسیلیکا نشان داده شده است.

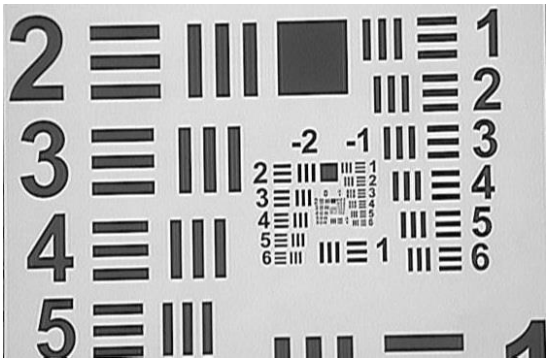


شکل ۱: طیف عملکرد پنجره‌های اپتیکی[۱]

طیف عملکرد دوربینی که در این آزمون مورد استفاده قرار گرفته، در بازه ۰.۴ تا ۰.۸۵ میکرومتر است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، فیوزسیلیکا در بازه موردنظر بالای ۹۰٪ عبوردهی دارد.

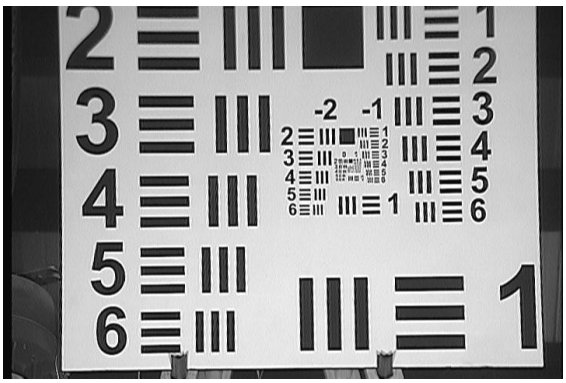
۳- آزمون عملی

در این آزمون جهت بررسی شفافیت اپتیکی فیوزسیلیکا در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، می‌بایست از یک الگو در فاصله مشخص تصویربرداری شود. با توجه به فاصله کانونی دوربین(۳۰ میلی‌متر)، ابعاد CCD آن و محاسبات اپتیکی صورت گرفته، مشخص شد که برای داشتن تصویری با کیفیت از فاصله ۶ متری، به یک الگو با ابعاد حدودی ۶۰*۸۰ سانتی‌متری نیاز است. از طرفی الگو مورد نظر باید طوری انتخاب شود که بتوان تحلیل مناسبی از لحاظ کیفیت داشت. بنابراین یک الگو با فرکانس‌های فضایی مختلف و ابعاد مورد نظر انتخاب شد. شکل (۲) نمایی از الگو انتخاب شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمایی از الگو انتخاب شده

برای انجام آزمون، پس از قرار دادن الگو در فاصله مشخص، دوربین جهت داشتن بهترین کیفیت تصویر، کانونی شد. شکل (۳) تصویر گرفته شده از الگو را بعد از قرار دادن پنجره اپتیکی بر روی سامانه، نشان می‌دهد.

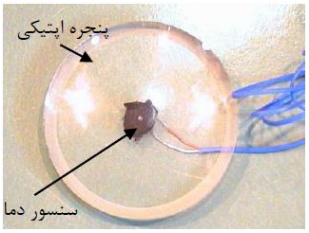


شکل ۳: تصویر الگو بعد از قرار دادن پنجره اپتیکی روی سامانه

پس از تنظیم چیدمان، پنجره اپتیکی جهت رسیدن به دمای هدف، درون کوره حرارتی قرار گرفت. لازم به ذکر است که قبل از آزمون واقعی، یک نمونه پنجره اپتیکی فیوزسیلیکا جهت یافتن گراف زمانی رسیدن به دمای ۱۲۰۰ درجه، در کوره قرار داده شد. برای این‌کار ابتدا یک

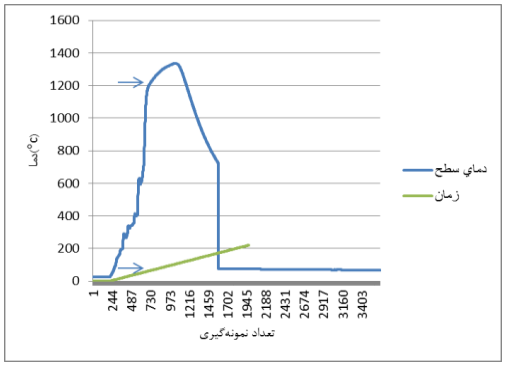
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-19]

سنسور دما، مانند شکل (۴)، به نمونه متصل گردید.



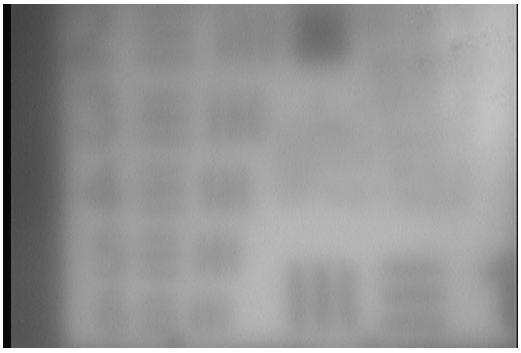
شکل ۴: نمونه پنجره اپتیکی با قطر ۱۵cm به همراه سنسور دما

گراف دمایی(شکل ۵) نشان می‌دهد که در مدت حدود ۶۵ ثانیه، دمای پنجره اپتیکی به ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.



شکل ۵: نمودار دمایی سطح پنجره اپتیکی

بنابراین پنجره اپتیکی فیوزسیلیکا به مدت ۶۵ ثانیه درون کوره حرارتی قرار گرفت. سپس بلافاصله پنجره مورد نظر در محل تعبیه شده در جلوی دوربین قرار گرفت و شروع به تصویربرداری از الگو کردیم. تکرار آزمون‌ها و نتایج سنسورهای دما نشان داد که به مدت حدود ۱۰ ثانیه دمای نمونه تغییری نمی‌کند و در حالت پایا می‌ماند. شکل (۶) تصویر گرفته شده در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را نمایش می‌دهد.



شکل ۶: تصویر الگو پس از گرم کردن پنجره در دمای ۱۲۰۰ درجه

همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود، تصویر بسیار مات است و خطوط، حتی در فرکانس‌های فضایی پایین، از هم تفکیک‌پذیر نیستند.

جهت بررسی تابش پنجره اپتیکی در بازه‌های زمانی مختلف با سرد شدن پنجره، تصاویری گرفته شد.
تصویر زیر با فاصله زمانی ۴۰ ثانیه نسبت به تصویر اول گرفته شد.

شکل ۷: تصویر الگو پس از حدود ۴۰ ثانیه

تصویر شماره (۸) نیز بعد از گذشت ۵ دقیقه نسبت به تصویر شماره (۷) گرفته شده است.

شکل ۸: تصویر صحنه پس از سرد شدن پنجره اپتیکی

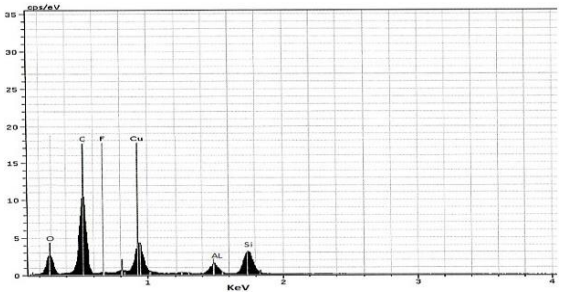
مقایسه تصاویر نشان می‌دهد که گرچه با کاهش دما خطوط بیشتری در تصویر قابل تشخیص هستند و کیفیت تصویر کمی بهتر می‌شود، ولی تصویر کیفیت و تفکیک‌پذیری مناسب را ندارد.
مقایسه تصاویر شماره (۶)، (۷) و (۸) نشان می‌دهد که بهبود اندک کیفیت تصاویر، با سرد شدن پنجره اپتیکی، در واقع ناشی از کاهش تابش پنجره اپتیکی فیوزسیلیکا است. ولی از آن‌جایی که فیوزسیلیکا در این دما(۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) صدمه دیده، خواص اپتیکی خود را از دست داده و قابل استفاده نمی‌باشد.
در انتهای آزمون، پنجره اپتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-19]

شکل (۹) پنجره اپتیکی را پس از آزمون نشان می‌دهد.

شکل ۹: تصویر پنجره اپتیکی پس از آزمون

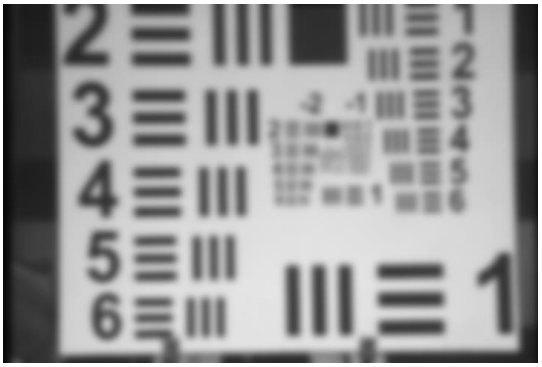
همان‌طور که از شکل پیداست، ذراتی روی پنجره اپتیکی نشسته‌اند. تحلیل‌ها(XRD و SEM نمونه) نشان می‌دهد که این ذرات ناشی از واکنش ناخالصی‌های موجود در کوره با سطح پنجره اپتیکی در دمای بالا است. شکل(۱۰) نشان می‌دهد که بیشترین ناخالصی مربوط به کربن است.



شکل ۱۰: ناخالصی‌های موجود روی پنجره اپتیکی

همچنین مشاهده شد که مقداری سایش و تغییر شکل در پنجره اپتیکی وجود دارد. این سایش و تغییر شکل به دلیل ذوب شدگی سطحی فیوزسیلیکا در این دما است.

در مرحله بعد جهت یافتن دمای بحرانی شفافیت اپتیکی فیوزسیلیکا، آزمون را دوباره برای دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تکرار کردیم. شکل زیر تصویر الگو را در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد پنجره اپتیکی، نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: تصویر الگو در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

همان‌طور که شکل (۱۱) نشان می‌دهد، خطوط، حتی در فرکانس‌های فضایی بالا، از هم قابل تمایزند و کیفیت تصویر قابل قبول است.

جهت بررسی تابش پنجره اپتیکی، در بازه زمانی ۱۲۰ ثانیه بعد از تصویر اول با سرد شدن پنجره اپتیکی، از الگو تصویربرداری شد.

شکل (۱۲) تصویر الگو را بعد از گذشت ۱۲۰ ثانیه نسبت به تصویر اول نشان می‌دهد.

شکل ۱۲: تصویر الگو بعد از گذشت ۱۲۰ ثانیه

مقایسه تصاویر شماره (۱۱) و (۱۲) نشان می‌دهد که با سرد شدن پنجره اپتیکی، کیفیت تصویر بهبود یافته است. این بهبود ناشی از کاهش تابش پنجره اپتیکی است. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که فیوزسیلیکا در دمای $1100^{\circ}C$ صدمه ندیده و خواص اپتیکی خود را از دست نمی‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

آزمون نشان می‌دهد که فیوزسیلیکا در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد خواص اپتیکی خود را از دست داده، صدمه دیده و به‌عنوان پنجره اپتیکی قابل استفاده نیست. همچنین با تکرار آزمون، دمای بحرانی شفافیت اپتیکی فیوزسیلیکا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد استخراج گردید که با نتایج تئوری موجود در کتب علمی همخوانی دارد.

مراجع

[1] Daniel C.Harris, *Material for Infrared Windows and Domes, Properties and Performance*, Opticai Engineering Press, Washington USA, 1999.

[2] Gerald C.Holst, *Electro-Optical Imaging System Performance*, Winter Park, Florida USA, 2000.

[3] Edward F.Cross, *Analytical Method to Calculate WindoW, Heating Effects on IR System Performance*, SPIE Vol.2286, PP.493-499, September 28, 1994.

[4] Edward F.Cross, *Window Heating Effects on Airborne Infrared System Calibration*, Proceedings of SPIE Infrared Technology XVIII, July 1992.

[5] J. N Harris, E. A Welsh, *FUSED SILICA DESIGN MANUAL*, VOLUME I, May 1973.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-19]