

Optoelectronic

Open
Access

ORIGINAL ARTICLE

Investigation Optical Properties of PbO-B₂O₃ (Lead Borate) and Bi₂O₃ - B₂O₃ (Bismuth Borate)

Azadeh Ahmadian*

1 Department of Basic Science, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.

Correspondence

Azadeh Ahmadian

Email: azade.ahmadian@gmail.com

How to cite

Ahmadian, A. (2024). Investigation Optical Properties of PbO-B₂O₃ (Lead Borate) and Bi₂O₃ - B₂O₃ (Bismuth Borate). Optoelectronic, 6(3), 37-46.

ABSTRACT

In this research, we investigate and compare the optical properties of lead borate and bismuth borate glasses. We used the Refractive index and the energy band gaps determined experimentally in Ref [22]. We found that molar refraction and electronic polarizability demonstrate similar behavior. The metallization varies from 0.630 to 0.568 for lead borate glasses and from 0.526 to 0.435 for bismuth borate glasses with increasing PbO/Bi₂O₃ content. The transmission coefficient decreased from 0.884 to 0.846 for PbB glasses and from 0.818 to 0.751 for BiB glasses, while the dielectric constant increased from 2.755 to 3.276 for PbB glasses and from 3.094 to 4.884 for BiB glasses. The optical electronegativity decreased from 0.964 to 0.792 for PbB and from 0.857 to 0.760 for BiB. The linear dielectric susceptibility increased from 0.139 to 0.181 for lead borate glasses and from 0.214 to 0.309 for bismuth borate glasses. The nonlinear optical susceptibility changed from 0.647×10^{-13} to 1.829×10^{-13} esu for PbB and from 0.359×10^{-12} to 1.551×10^{-12} esu for BiB, indicating more than fivefold increment. The nonlinear refraction index varied from 1.470×10^{-12} to 3.810×10^{-12} esu for lead borate glasses and from 0.704×10^{-11} to 2.646×10^{-11} esu for bismuth borate glasses. The results confirm that bismuth borate is better than lead borate for optical applications.

KEYWORDS

Glass, Optical Properties, Lead Borate, Bismuth Borate.

فصلنامه علمی
اپتوالکترونیک

«مقاله پژوهشی»

بررسی ویژگی‌های نوری $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ (سرب بورات) و $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3$ (بیسموت بورات)

آزاده احمدیان*

1 گروه علوم پایه، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

چکیده

در این تحقیق، ما ویژگی‌های نوری شیشه‌های سرب بورات و بیسموت بورات را بررسی و مقایسه می‌کنیم. از ضریب شکست و شکاف باند انرژی استفاده کردیم؛ که با روش‌های تجربی در مرجع 22 تعیین شده بودند. دریافتیم شکست مولی و قطبش‌پذیری الکترونیکی رفتار مشابهی را نشان می‌دهند. متالیزاسیون از 0/630 تا 0/568 برای شیشه‌های سرب بورات و از 0/526 تا 0/435 برای شیشه‌های بیسموت بورات با افزایش مقدار $\text{PbO/Bi}_2\text{O}_3$ متغیر است. ضریب انتقال (T) از 0/884 به 0/846 برای شیشه‌های PbB و از 0/818 به 0/751 برای شیشه‌های BiB کاهش یافت، در صورتی که ثابت دی‌الکتریک (ϵ) از 2/755 به 3/276 برای شیشه‌های PbB و از 3/094 به 4/884 برای شیشه‌های BiB افزایش یافت. الکترونگاتیویته نوری (χ^*) از 0/964 به 0/792 برای PbB و از 0/857 به 0/760 برای BiB کاهش یافت. حساسیت دی‌الکتریک خطی (χ^1) از 0/139 به 0/181 برای شیشه‌های سرب بورات و از 0/214 به 0/309 برای شیشه‌های بیسموت بورات افزایش یافت. حساسیت دی‌الکتریک غیرخطی (χ^3) از $10^{-13} \times 0/647$ تا $10^{-13} \times 1/829$ برای PbB و از $10^{-12} \times 0/395$ تا $10^{-12} \times 1/551$ برای BiB تغییر کرد؛ که افزایش 5 برابری را نشان می‌دهد. ضریب شکست غیرخطی (n_2) نیز از $10^{-12} \times 1/470$ به $10^{-12} \times 3/810$ برای شیشه‌های سرب بورات و از $10^{-11} \times 0/704$ به $10^{-11} \times 2/646$ برای شیشه‌های بیسموت بورات افزایش یافت. نتایج تایید می‌کند که بیسموت بورات برای کاربردهای نوری بهتر از سرب بورات است.

واژه‌های کلیدی

شیشه، خصوصیات نوری، سرب بورات، بیسموت بورات.

نویسنده مسئول:

آزاده احمدیان

رایانامه: azade.ahmadian@gmail.com

استناد به این مقاله:

آزاده احمدیان (1403). بررسی ویژگی‌های نوری $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ (سرب بورات) و $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3$ (بیسموت بورات). فصلنامه علمی اپتوالکترونیک، 6(3)، 37-46.

مقدمه

خواص نوری و رفتارهای محافظتی شیشه‌های باریم بورات بیسموت توسط عصری و همکاران مطالعه شد [17].

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که شیشه‌های غیر سمی بیسموت بورات ظرفیت جایگزینی با بتن‌های محافظ تشعشع و شیشه‌های موجود تجاری حاوی سرب را برای محافظت در برابر اشعه گاما و تابش نوترون دارند [18-19].

اثرات سیستم شیشه‌ای بیسموت بورات بر محافظت تابش هسته‌ای به صورت نظری توسط کامپسلی اغلو⁴ مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس گزارش وی، مقادیر پارامترهای حفاظت در برابر تشعشع مانند ضریب تضعیف جرم⁵، لایه نیم مقدار⁶، لایه یک دهم مقدار⁷ و متوسط مسیر آزاد⁸ با افزایش محتوای Bi_2O_3 کاهش می‌یابد [20].

در سال 2016، بابکوا⁹ تحقیقاتی را روی ترکیبات بیسموت-بورات و شیشه‌های مرتبط با آنها در هر دو سیستم دوتایی و سه تایی انجام داد و خواص و ساختار آنها را بررسی کرد [21].

مقایسه شکاف باند اپتیکی و ضریب شکست در شیشه‌های سرب بورات و بیسموت بورات توسط مالور¹⁰ و همکاران در سال 2015 انجام شد. آنها چندین شیشه سرب بورات و بیسموت بورات را با تغییر محتوای $\text{PbO}/\text{Bi}_2\text{O}_3$ تهیه کردند و ضریب شکست و شکاف باند اپتیکی را به عنوان تابعی از آن بررسی کردند. آنها یک رابطه تجربی جدید بین شکاف باند اپتیکی و ضریب شکست را به دست آوردند که امکان ارزیابی دقیق قطبش‌پذیری اکسید الکترونیکی در شیشه‌های اکسید سرب و اکسید بیسموت را فراهم می‌کند [22].

علاوه بر این، این شیشه‌ها دارای ضریب شکست بالایی هستند، اشعه ماوراء بنفش را به طور موثر جذب می‌کنند و محافظت عالی در برابر تشعشع ایجاد می‌کنند. قطبش‌پذیری بالای کاتیون‌های فلزات سنگین مسئول ضریب شکست خطی بالا این شیشه‌ها است که آنها را به مواد بالقوه‌ای برای کاربرد در اپتیک غیرخطی تبدیل می‌کند.

در این مقاله، ما خواص نوری خطی و غیرخطی $x\text{PbO}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$ و $x\text{Bi}_2\text{O}_3-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$ (که در آن $x = 30-60\%$) برای طیف وسیعی از ترکیبات شیشه‌ای مطالعه و کردیم.

محبوبیت شیشه‌ها در دهه گذشته به دلیل استفاده گسترده از آنها در زمینه‌های مختلف مانند الکترونیک، محافظ پرتوهای هسته‌ای، فناوری انرژی خورشیدی و دستگاه‌های نوری به طور قابل توجهی افزایش یافته است [1-4].

شیشه‌های سرب بورات و بیسموت بورات دو نوع جالب از شیشه‌ها هستند که طیف وسیعی از تغییرات در ویژگی‌های نوری را به عنوان تابعی از ترکیب شیشه نشان می‌دهند [5-8]. وجود $\text{PbO}/\text{Bi}_2\text{O}_3$ در این شیشه‌ها تأثیر منحصر به فردی بر ساختار آنها دارد زیرا آنها می‌توانند هم به عنوان سازنده و هم به عنوان اصلاح‌کننده شبکه شیشه‌ای عمل کنند [9-11].

شیشه‌های بورات سرب دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که به آنها در مصارف مختلف ارزش قابل توجهی می‌دهد. این شیشه‌ها به دلیل ضریب شکست بالا و پراکندگی کم، برای ابزارهای نوری مانند لنزها، منشورها و فیبرهای نوری مناسب هستند. علاوه بر این، این شیشه‌ها به طور موثر شدت پرتوهای ایکس و گاما را کاهش می‌دهند که این خاصیت آنها را برای محافظت در برابر تشعشع ایده‌آل می‌کند [12-13].

تاکای¹ و همکاران مطالعه‌ای بر روی نمونه‌های شیشه بورات که حاوی اکسیدهای سرب و روی بودند انجام دادند تا توانایی حفاظتی آنها را در برابر تابش اشعه گاما بررسی کنند. بر اساس تحقیقات آنها، گنجاندن سرب در این سیستم‌های شیشه‌ای منجر به افزایش قابلیت محافظت پرتو گاما و کاهش استحکام آنها شد. آنها دلیل این امر را ایجاد اکسیژن غیر پل‌زدنی² گزارش کردند [14].

خواص فیزیکی و اپتیکی $x\text{PbO}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$ ($x=20$) و اپتیکی $x\text{PbO}-(100-x)\text{B}_2\text{O}_3$ (شیشه‌های سرب بورات) توسط سینگ³ و همکاران مطالعه قرار گرفت. آنها دریافتند که چگالی نمونه‌های شیشه‌ای به صورت غیر خطی با افزایش محتوای PbO افزایش می‌یابد و افزودن PbO به افزایش ضریب شکست کمک می‌کند [15].

علاوه بر این، شیشه‌های حاوی اکسید بیسموت به عنوان یکی از مهمترین شیشه‌های حاوی اکسیدهای فلزات سنگین شناخته می‌شوند. به این دلیل که آنها دارای ویژگی‌های منحصر به فردی از جمله ضریب شکست بالاتر، توانایی محافظت در برابر تشعشع خوب، حساسیت اپتیک غیرخطی مرتبه سوم بالا و چگالی بیشتر در مقایسه با سایر انواع شیشه‌ها هستند [16].

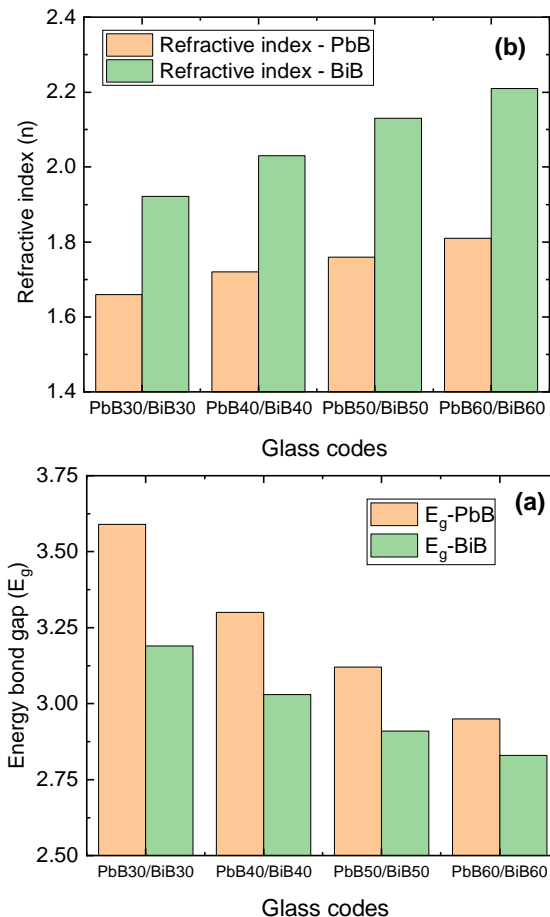
4 Kamislioglu
5 Mass Attenuation Coefficient
6 Half-Value Layer
7 Tenth Value Layer
8 Mean Free Path
9 Bobkova
10 Malur

1 Takai
2 Non-bridging oxygen
3 Singh

مواد و روش‌ها

در این مقاله، ما از ضریب شکست و شکاف باند انرژی شیشه‌های نمونه استفاده کردیم که قبلاً توسط مالور و همکاران در مرجع [22] به صورت تجربی تعیین شده بود. مقادیر n و E_g در جدول 1 و در شکل‌های 1 الف و ب بعنوان تابعی از کدهای شیشه‌ای ترسیم شده است. مقادیر n از $1/66$ برای $PbB30$ تا $1/81$ برای $PbB60$ و از $1/922$ برای $BiB30$ به $2/21$ برای $BiB60$ تغییر می‌کند.

افزایش مقادیر ضریب شکست را می‌توان به افزودن سرب و بیسموت به ساختار شیشه نسبت داد. هنگامی که سرب و بیسموت با حجم اتمی بزرگ‌تر ($18/17$ سانتی متر مکعب بر مول و $21/3$ سانتی متر مکعب بر مول) جایگزین بور با حجم اتمی کوچک‌تر ($4/6$ سانتی متر مکعب بر مول) می‌شود، مقدار قطبش‌پذیری افزایش می‌یابد و با توجه به رابطه لورنتس-لورنز² ضریب شکست نیز افزایش می‌یابد. ضریب شکست بیسموت به دلیل حجم اتمی بزرگ‌تر در مقایسه با سرب افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند.



شکل 1. تغییرات شکاف باند انرژی (الف) و ضریب شکست (ب) برای همه نمونه‌ها برحسب کد شیشه‌ها (برگرفته از داده‌های مرجع [22])

برای مطالعه حاضر، ما هشت نمونه شیشه را که در مرجع [22] آورده شده است، انتخاب کردیم. این نمونه‌ها دارای شیشه‌های دوتایی سرب بورات با ترکیب $xPbO:(100-x)B_2O_3$ با $x = 7, 30-60 \text{ mol}$ و شیشه‌های دوتایی بیسموت بورات با ترکیب $xBi_2O_3:(100-x)B_2O_3$ با $x = 30-60 \text{ mol}$ هستند. تغییرات x با گام‌های 10 مول درصد به ترتیب 4 نمونه شیشه‌ای برای سیستم بورات سرب ($PbB30-PbB60$) و 4 نمونه شیشه‌ای برای سیستم بورات بیسموت ($BiB30-BiB60$) می‌دهد. در مرجع [22] ذکر شده است برای ساخت نمونه‌ها ابتدا مواد خام کاملاً مخلوط و در محدوده 800-1000 درجه سانتی‌گراد ذوب شدند. مواد ذوب شده با ریختن بر روی سطح متراکم برنجی و قرار دادن سریع یک سطح برنجی دیگر در بالا، به سرعت خنک می‌شوند.

در مرجع [22] آورده شده است که ضریب شکست بسیار دقیق با استفاده از تنظیم زاویه بروستر اندازه‌گیری شد در حالی که شکاف‌های باند اپتیکی با استفاده از مدل موت-دیویس¹ تعیین شدند. در جدول 1، فرمول شیمیایی، چگالی، حجم مولی، ضریب شکست و شکاف باند انرژی نمونه‌های شیشه‌ای انتخاب شده برای این مطالعه به نقل از مرجع [22] آورده شده است.

جدول 1. فرمول شیمیایی، چگالی، حجم مولی، ضریب شکست و شکاف باند انرژی نمونه‌های شیشه‌ای بررسی شده (برگرفته از داده‌های مرجع [22])

| کدهای نمونه‌ها | فرمول شیمیایی | ضریب شکست | شکاف باند انرژی | حجم مولی (cm^3/mol) | چگالی (gr/cm^3) |
|----------------|----------------------|-----------|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| PbB30 | $30PbO-70B_2O_3$ | 1/66 | 3/59 | 27/34 | 4/23 |
| PbB40 | $40PbO-60B_2O_3$ | 1/72 | 3/30 | 28/56 | 4/58 |
| PbB50 | $50PbO-50B_2O_3$ | 1/76 | 3/12 | 28/89 | 5/06 |
| PbB60 | $60PbO-40B_2O_3$ | 1/81 | 2/95 | 29/31 | 5/51 |
| BiB30 | $30Bi_2O_3-70B_2O_3$ | 1/92 | 3/19 | 34/21 | 5/51 |
| BiB40 | $40Bi_2O_3-60B_2O_3$ | 2/03 | 3/03 | 36/45 | 6/26 |
| BiB50 | $50Bi_2O_3-50B_2O_3$ | 2/13 | 2/91 | 38/04 | 7/03 |
| BiB60 | $60Bi_2O_3-40B_2O_3$ | 2/21 | 2/83 | 40/40 | 7/60 |

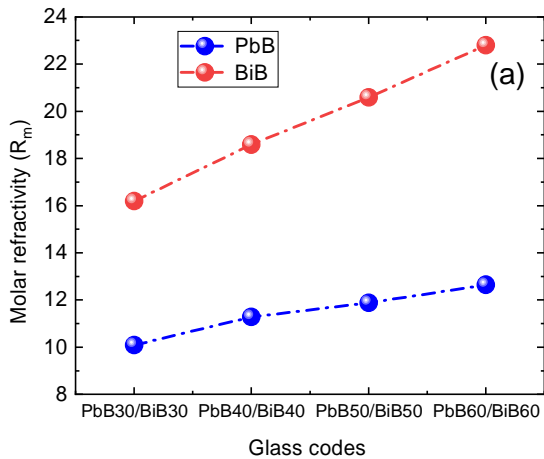
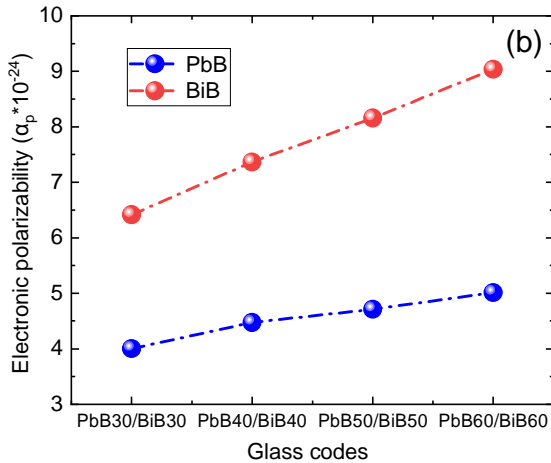
بررسی خواص اپتیکی

مطالعه نحوه رفتار ضریب شکست بسیار مهم و آموزنده است، به خصوص که بسیاری از پدیده‌های نوری به مقدار آن بستگی دارند. ضریب شکست، n ، به شدت با قطبش الکترونیکی اتم‌ها یا یون‌ها و میدان محلی در ماده مورد مطالعه مرتبط است. بنابراین، بررسی ضریب شکست در ارزیابی رخدادهای غیرخطی بسیار ارزشمند است [23].

شکست مولی مرتبط کرد [29]

$$\alpha_p = \left(\frac{3}{4\pi N_A} \right) R_m \quad (2)$$

که در آن N_A عدد آووگادرو و R_m شکست مولی است. در شکل 2 تغییرات شکست مولی و قطبش پذیری الکترونیکی را برحسب کد شیشه‌های نمونه ترسیم شده است.



شکل 2. تغییرات شکست مولی (الف) و قطبش پذیری الکترونیکی (ب) برای همه نمونه‌ها برحسب کد شیشه‌ها

مقادیر به دست آمده برای شکست مولی و قطبش پذیری الکترونیکی نمونه‌های شیشه در جدول 2 و جدول 3 آمده است. در شکل‌های 2 الف و ب شکست مولی و قطبش پذیری الکترونیکی برحسب کدهای شیشه‌ها ترسیم شده است. افزایش قطبش پذیری الکترونیکی تأثیر غلظت سرب و بیسموت را بر قطبش پذیری نشان می‌دهد. همان طور که در شکل 2 نشان داده شده است، افزایش غلظت PbO/Bi_2O_3 منجر به افزایش R_m و α_p می‌شود. افزودن Bi_2O_3 در شیشه باعث افزایش مقدار اکسیژن‌های غیر پل زدن می‌شود که منجر به افزایش پلاریزاسیون شیشه‌های BiB می‌شود.

جدول 2. خصوصیات اپتیکی نمونه‌های شیشه‌ای PbB

| PbB60 | PbB50 | PbB40 | PbB30 | کد نمونه‌ها | پارامترهای اپتیکی / شکست مولی (R_m) |
|-------|-------|-------|-------|-------------|--|
| 12/64 | 11/88 | 11/28 | 10/09 | | شکست مولی (R_m) |
| 5/012 | 4/712 | 4/471 | 4/001 | | قطبش پذیری الکترونیکی ($\alpha_e \times 10^{-24}$) |
| 8/309 | 7/582 | 7/006 | 6/156 | | افت شکست (R_L) |
| 0/846 | 0/859 | 0/869 | 0/884 | | انتقال نوری (T) |
| 0/568 | 0/588 | 0/605 | 0/630 | | متالیزاسیون (M) |
| 3/276 | 3/097 | 2/958 | 2/755 | | ثابت دی‌الکتریک (ϵ) |
| 0/792 | 0/838 | 0/887 | 0/964 | | الکترونگاتیویته نوری χ^* |
| 0/181 | 0/166 | 0/155 | 0/139 | | حساسیت نوری مرتبه اول $\chi^{(1)}$ |
| 1/829 | 1/319 | 1/002 | 0/647 | | حساسیت نوری مرتبه سوم $\chi^{(3)} \times 10^{-12}$ |
| 3/810 | 2/826 | 2/197 | 1/470 | | ضریب شکست غیرخطی $n_2 \times 10^{-10}$ |

جدول 3. خصوصیات اپتیکی نمونه‌های شیشه‌ای BiB

| BiB60 | BiB50 | BiB40 | BiB30 | کد نمونه‌ها | پارامترهای اپتیکی / شکست مولی (R_m) |
|--------|--------|--------|--------|-------------|--|
| 22/794 | 20/582 | 18/584 | 16/186 | | شکست مولی (R_m) |
| 9/036 | 8/159 | 7/367 | 6/416 | | قطبش پذیری الکترونیکی ($\alpha_e \times 10^{-24}$) |
| 0/142 | 0/130 | 0/115 | 0/099 | | افت شکست (R_L) |
| 0/751 | 0/769 | 0/792 | 0/818 | | انتقال نوری (T) |
| 0/435 | 0/458 | 0/490 | 0/526 | | متالیزاسیون (M) |
| 4/884 | 4/536 | 4/120 | 3/694 | | ثابت دی‌الکتریک (ϵ) |
| 0/760 | 0/782 | 0/814 | 0/857 | | الکترونگاتیویته نوری χ^* |
| 0/309 | 0/281 | 0/248 | 0/214 | | حساسیت نوری مرتبه اول $\chi^{(1)}$ |
| 1/551 | 1/066 | 0/646 | 0/359 | | حساسیت نوری مرتبه سوم $\chi^{(3)} \times 10^{-12}$ |
| 2/646 | 1/888 | 1/201 | 0/704 | | ضریب شکست غیرخطی $n_2 \times 10^{-10}$ |

شکست مولی (R_m) و قطبش پذیری الکترونیکی (α_p)

شکست مولی معیاری برای قطبش پذیری کلی یک ماده در هر مول است. رابطه بین شکست مولی، ضریب شکست و حجم مولی شیشه بصورت زیر بیان می‌شود [29]

$$R_m = \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) V_m \quad (1)$$

که در آن n نشان‌دهنده ضریب شکست خطی، V_m نشان‌دهنده حجم مولی است.

قطبش پذیری الکترونیکی به میزان پاسخگویی الکترون‌ها به میدان الکتریکی اعمال شده بستگی دارد. با استفاده از عدد آووگادرو، قطبش پذیری مولی را می‌توان از طریق رابطه زیر به

متالیزاسیون M و ثابت دی‌الکتریک ε

پارامتر متالیزاسیون M نشان‌دهنده خصوصیات فلزی یا عایق بودن نمونه‌های شیشه‌ای بررسی‌شده بوده و به صورت زیر بیان می‌شود [24]:

$$M = 1 - \frac{R_m}{V_m} \quad (5)$$

که در آن R_m نشان‌دهنده شکست مولی و V_m نشان‌دهنده حجم مولی است. M > 1 نشان می‌دهد که مواد دارای ماهیت فلزی هستند، در حالی که M < 1 نشان می‌دهد که نمونه‌های بررسی شده دارای خواص غیرفلزی هستند. انتقال به حالت فلزی زمانی اتفاق می‌افتد که R_m/V_m=1 باشد.

ثابت دی‌الکتریک که با نماد "ε" نشان داده می‌شود با معادله 6 تعریف می‌شود. ثابت دی‌الکتریک اغلب برای توصیف ویژگی‌های الکتریکی مواد عایق استفاده می‌شود و نقش مهمی در طراحی و تجزیه و تحلیل خازن‌ها و سایر سیستم‌های الکتریکی دارد.

$$\varepsilon = n^2 \quad (6)$$

مقادیر M و ε در جدول 2 برای نمونه‌های PbB و در جدول 3 برای نمونه‌های BiB آورده شده و به عنوان تابعی از مقدار نمونه‌های PbB و BiB در شکل 4 الف و ب ترسیم شده است. مشاهده می‌شود که متالیزاسیون شیشه‌های PbB از 0/568 تا 0/630 و برای شیشه‌های BiB در محدوده 0/435 تا 0/526 است.

دیمیتروف¹ و ساکا² متالیزاسیون را برای بسیاری از اکسیدهای ساده محاسبه کردند و دریافتند که اکسیدهایی با ضریب شکست بزرگ و شکاف انرژی کوچک در مقایسه با ضرایب شکست کوچک و شکاف انرژی بزرگ، درجه فلزی شدن کمتری دارند [26]. از شکل‌های 1 الف و 4 الف مشخص است که نمونه BiB60 دارای کمترین شکاف انرژی، بزرگ‌ترین ضریب شکست و کوچک‌ترین متالیزاسیون است که مطابقت خوبی با نتایج دیمیتروف دارد. شکل 4 ب نشان می‌دهد که ثابت دی‌الکتریک ε رفتاری مشابه با ضریب شکست نمونه‌های شیشه دارد.

افت شکست (R_L) و ضریب انتقال (T)

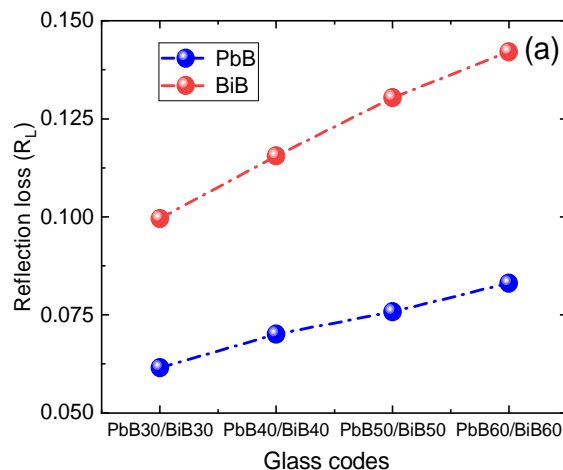
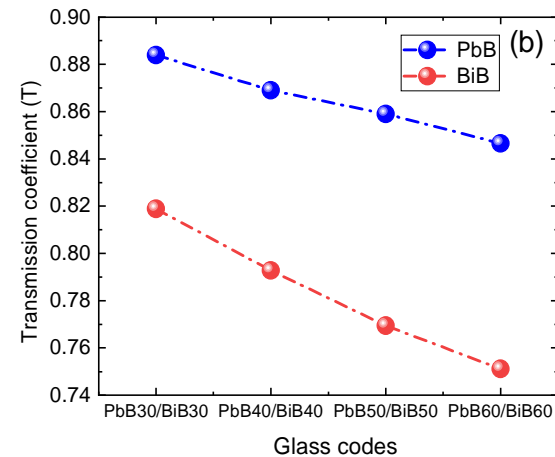
دو پارامتر فیزیکی مهم دیگر به نام‌های افت بازتاب و انتقال نوری می‌باشند. با استفاده از مقادیر ضریب شکست در معادله زیر می‌توان افت بازتاب را تعیین کرد [24]:

$$R_L = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \quad (3)$$

انتقال نوری نمونه‌های بررسی شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [24]

$$T = \frac{2n}{n^2+1} \quad (4)$$

مقادیر محاسبه شده R_L و T در جدول 2 برای نمونه‌های PbB و در جدول 3 برای نمونه‌های BiB و به ترتیب در شکل‌های 3 الف و ب نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها، R_L و T با افزایش غلظت سرب و بیسموت در شیشه‌ها رفتار معکوس دارند. T با کاهش R_L افزایش می‌یابد و در تطابق با این اصل نظری است که T یک ماده و R_L آن برعکس تغییر می‌کنند [25].



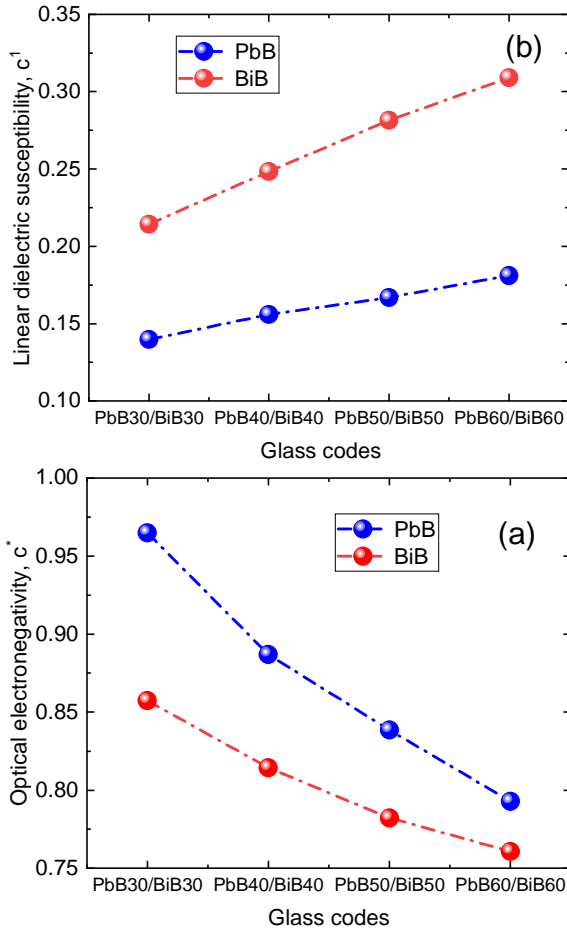
شکل 3. تغییرات افت شکست (الف) و انتقال نوری (ب) برای همه نمونه‌ها برحسب کد شیشه‌ها

با کمک E_g و n مقادیر χ^* و $\chi^{(1)}$ با استفاده از روابط دافی قابل محاسبه هستند [27]:

$$\chi^* = 0.2688 E_g \quad (7)$$

$$\chi^1 = (n^2 - 1)/4\pi \quad (8)$$

شکل‌های 5 الف و ب تغییرات χ^* و $\chi^{(1)}$ را برای شیشه‌های PbB30-PbB60 و BiB30-BiB60 نشان می‌دهد و مقادیر محاسبه شده برای آنها در جدول 2 و جدول 3 آورده شده است.

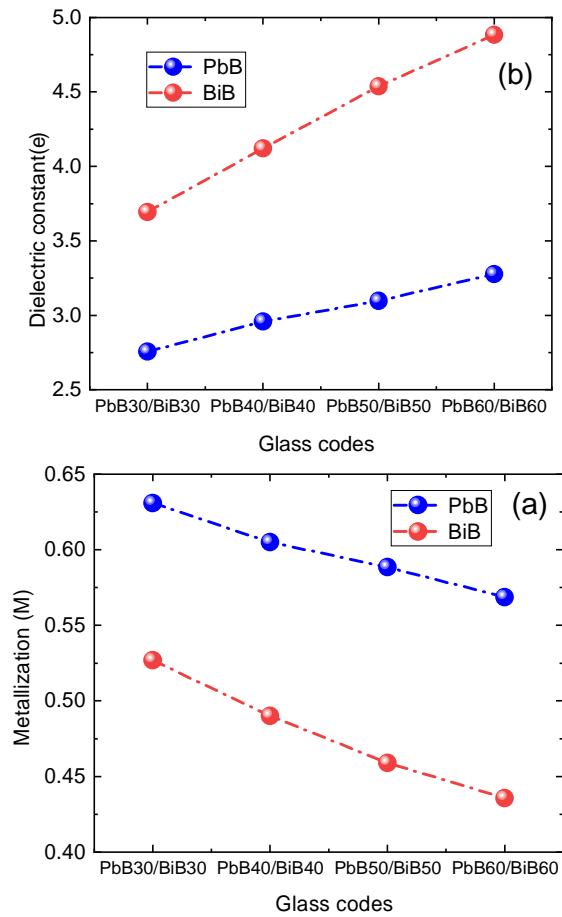


شکل 5. تغییرات الکترون‌گاتیویته نوری (الف) و حساسیت دی‌الکتریک خطی (ب) برای همه نمونه‌ها برحسب کد شیشه‌ها

دیده می‌شود که مقادیر χ^* از 0/964 برای PbB30 به 0/792 برای PbB60 و از 0/857 برای BiB30 به 0/760 برای BiB60 کاهش می‌یابد. برعکس، $\chi^{(1)}$ از 0/139 به 0/181 برای نمونه‌های PbB و از 0/214 به 0/309 برای نمونه‌های BiB افزایش می‌یابد.

حساسیت اپتیکی غیرخطی $\chi^{(3)}$ و ضریب شکست غیرخطی n_2

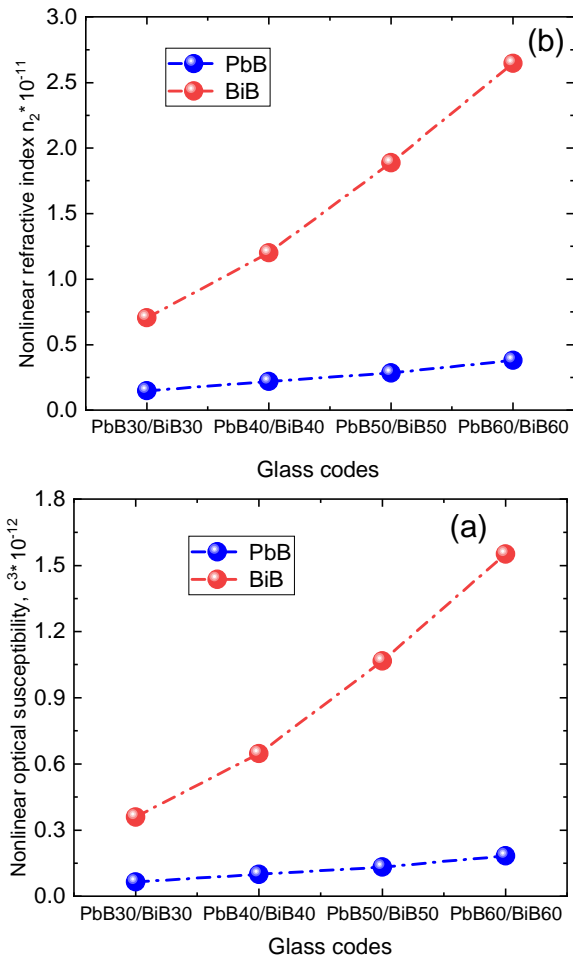
پاسخ یک ماده به میدان‌های الکترومغناطیسی پرشدت توسط



شکل 4. تغییرات متالیزاسیون (الف) و ثابت دی‌الکتریک (ب) برای همه نمونه‌ها برحسب کد شیشه‌ها

الکترون‌گاتیویته نوری χ^* و حساسیت دی‌الکتریک خطی $\chi^{(1)}$

دافی¹ در ابتدا مفهوم الکترون‌گاتیویته نوری، χ^* را برای ارزیابی پارامترهای فیزیکی مختلف در مواد نیمه هادی معرفی کرد. الکترون‌گاتیویته یک اندازه‌گیری کمی از توانایی یک اتم یا رادیکال برای جذب الکترون و ایجاد پیوندهای یونی را ارائه می‌دهد. از سوی دیگر، حساسیت دی‌الکتریک، $\chi^{(1)}$ ، واکنش یک ماده به یک میدان الکتریکی اعمال شده خارجی را توصیف می‌کند. هنگامی که ماده دی‌الکتریک میدان الکتریکی را تجربه می‌کند، دوقطبی‌های الکتریکی درون ماده خود را با جهت میدان هماهنگ می‌کنند. این آرایش منجر به قطبی شدن مواد شده و باعث جدایی بین بارهای مثبت و منفی می‌شود و در نهایت منجر به ایجاد یک گشتاور دوقطبی الکتریکی القایی می‌شود. حساسیت دی‌الکتریک معیاری از نسبت بین قطبش تولید شده در واحد حجم و بزرگی میدان الکتریکی اعمال شده است.



شکل 6. تغییرات حساسیت اپتیکی غیرخطی (الف) و ضریب شکست غیرخطی (ب) برای همه نمونه‌ها برحسب کد شیشه‌ها

نتیجه‌گیری

هدف از این مقاله بررسی برخی خصوصیات اپتیکی سرب بورات و بیسموت بورات است. مشاهده شد که با افزایش مقادیر PbO/Bi_2O_3 ، ضریب شکست هر دو نمونه شیشه نیز افزایش می‌یابد. در شیشه‌های بررسی‌شده، مقادیر R_m از 10/09 تا 12/64 برای شیشه‌های PbB و از 16/18 تا 22/79 برای شیشه‌های BiB متغیر بود در صورتی که α_p از $4/001 \times 10^{-24}$ تا $5/012 \times 10^{-24}$ برای شیشه‌های PbB و از $6/416 \times 10^{-24}$ تا $9/036 \times 10^{-24}$ برای شیشه‌های BiB متغیر بود. رفتار افت شکست و انتقال نوری در هر دو نمونه مخالف هم بود. با افزایش مقدار PbO/Bi_2O_3 ، یک رابطه معکوس بین متالیزاسیون و ثابت دی‌الکتریک برای هر دو نمونه شیشه مشاهده شد. الکترون‌گاتیویته نوری (χ^*) بین 0/792 و 0/964 برای شیشه‌های PbB متغیر بود و از 0/857 به 0/760 برای شیشه‌های BiB تغییر کرد. حساسیت دی‌الکتریک خطی ($\chi^{(1)}$) از 0/139 تا 0/181 برای شیشه‌های بورات سرب و از

$\chi^{(3)}$ (حساسیت نوری غیرخطی مرتبه سوم) توصیف می‌شود. این اثر نوری غیرخطی وقتی شدت نور به اندازه کافی بالا می‌رود ایجاد می‌شود. از سوی دیگر، ضریب شکست غیرخطی، که با n_2 نمایش داده می‌شود، به مواد خاصی مربوط می‌شود و واکنش آن‌ها به نور قوی را توصیف می‌کند. ضریب شکست غیرخطی نقش مهمی در حوزه‌های نوری مختلف مانند اپتیک غیرخطی، ارتباطات نوری و فیزیک لیزر ایفا می‌کند [28].

حساسیت نوری غیرخطی و ضریب شکست غیرخطی شیشه‌های PbB/BiB با استفاده از فرمول‌های تیچا¹ و تیچی² محاسبه می‌شوند [29]:

$$\chi^{(3)} = A((n-1)/4\pi)^4 \quad (9)$$

که در آن $A = 1/7 \times 10^{-10}$ می‌باشد و

$$n_2 = 12\pi\chi^3/n \quad (10)$$

شکل‌های 6 الف و ب به ترتیب تغییرات $\chi^{(3)}$ و n_2 برحسب کد نمونه‌های شیشه نشان می‌دهد. همان طوری که دیده می‌شود، هر دو $\chi^{(3)}$ و n_2 با افزایش مقدار PbO/Bi_2O_3 افزایش می‌یابند. حساسیت دی‌الکتریک غیرخطی ($\chi^{(3)}$) برای بیسموت بورات از $0/395 \times 10^{-12}$ تا $1/551 \times 10^{-12}$ افزایش پیدا کرد که مقادیر به‌دست آمده در توافق خوبی با مقادیر تجربی گزارش شده ($0/319 \times 10^{-12}$ تا $1/18 \times 10^{-12}$) برای $\chi^{(3)}$ توسط تراشیمای³ و همکاران است [30]. علاوه بر این مقدار ضریب شکست غیرخطی بصورت تجربی برای یک نمونه سرب بورات $1/72 \times 10^{-12}$ توسط پن⁴ و همکاران گزارش شده است [31]. در مقاله حاضر مقدار n_2 برای سرب بورات از 10^{-12} به $1/470 \times 10^{-12}$ تا $3/810 \times 10^{-12}$ به‌دست آمده که با نتایج تجربی در توافق است.

واضح است که افزایش $\chi^{(3)}$ و n_2 برای نمونه‌های BiB بیشتر از نمونه‌های PbB است. این افزایش را می‌توان به حضور رو به رشد اکسیژن‌های غیر پل‌زدنی در ساختار شیشه‌ای BiB نسبت داد. ضریب شکست غیرخطی و حساسیت نوری برای شیشه BiB60 بیشتر از سایر نمونه‌های شیشه است. بنابراین، BiB60 این پتانسیل را دارد که به عنوان یک ماده نوری در فیبرهای ارتباطی پرسرعت به‌کار گرفته شود.

1 Ticha

2 Tichy

3 Terashima

4 Pan

غیر پلزدنی (NBO) موجود در ترکیبات شیشه‌ای BiB نسبت به شیشه‌های PbB نسبت داد. شیشه BiB60 در مقایسه با سایر نمونه‌های شیشه‌ای مطالعه‌شده، دارای ضریب شکست غیرخطی و حساسیت نوری بیشتری است. نتایج به‌دست آمده مناسب بودن بالقوه شیشه‌های بیسموت بورات را برای طیف گسترده‌ای از کاربردها، از جمله فیبرهای نوری، اپتوالکترونیک، لیزرهای حالت جامد و دستگاه‌های فوتونیک تأیید می‌کنند.

منابع

- [1] Y. S. Rammah, M. I. Sayyed, A. A. Ali, H. O. Tekin, R. El-Mallawany, Optical properties and gamma-shielding features of bismuth borate glasses, *Appl. Phys. A* 124 (2018) 832.
- [2] J.M.P. Almeida, R.D. Fonseca, L. De Boni, A.R.S. Diniz, A.C. Hernandez, P.H.D. Ferreira, C.R. Mendonca, Waveguides and nonlinear index of refraction of borate glass doped with transition metals, *Opt. Mater.* 42 (2015) 522–525.
- [3] K. L. Chopra, P.D. Paulson, V. Dutta, Thin-film solar cells: an overview, *Prog. Photovoltaics Res. Appl.* 12 (2004) 69–92.
- [4] F.A. Al-Agel, Structural and optical properties of Te doped Ge–Se phase-change thin films: a material for optical storage, *Mater. Sci. Semicond. Process.* 18 (2014) 36–41.
- [5] V. Dimitrov, S. Kim, T. Yoko, T. Sakka, Third harmonic generation in PbOSiO₂ and PbO-B₂O₃ glasses, *J. Ceram. Soc. Jpn.* 101 (1993) 59–63.
- [6] J. Joanna Pisarska, Luminescence behavior of Dy³⁺ ions in lead borate glasses, *Opt. Mater.* 31 (2009) 1784–1786
- [7] X. Zhao, X. Wang, H. Lin, Z. Wang, Correlation among Electronic Polarizability, Optical Basicity and Interaction Parameter of Bi₂O₃-B₂O₃ Glasses, *Physica B* 390 (2007) 293–300.
- [8] I. Opera, H. Hesse, K. Betzler, Optical Properties of Bismuth Borate Glasses, *Opt. Mater.* 26 (2004) 235–237.
- [9] M.B. Saisudha, J. Ramakrishna, Effect of host glass on the optical absorption properties of Nd³⁺, Sm³⁺, and Dy³⁺ in lead borate glasses, *Phys. Rev. B.* 53 (1996) 6186–6196.
- [10] M.B. Saisudha, K.S.R. Koteswara Rao, H.L. Bhat, J. Ramakrishna, The fluorescence of Nd³⁺ in lead borate and bismuth borate glasses with large stimulated emission cross section, *J. Appl. Phys.* 80 (1996) 4845–4853.
- [11] M.B. Saisudha, J. Ramakrishna, Optical absorption of Nd³⁺, Sm³⁺ and Dy³⁺ in bismuth borate glasses with large radiative transition

- 0/214 تا 0/309 برای شیشه‌های بورات بیسموت متغیر بود. همچنین رابطه بین الکترونگاتیویته نوری و حساسیت دی‌الکتریک خطی در هر دو نوع نمونه شیشه‌ای معکوس بود. حساسیت دی‌الکتریک غیرخطی ($\chi^{(3)}$) از $0/647 \times 10^{-13}$ تا 10^{-12} و از $0/395 \times 10^{-12}$ تا 10^{-11} برای BiB افزایش پیدا کرد. ضریب شکست غیرخطی (n_2) از $1/470 \times 10^{-12}$ به $3/810 \times 10^{-12}$ برای شیشه‌های سرب بورات و از $0/704 \times 10^{-11}$ به $2/646 \times 10^{-11}$ برای شیشه‌های بیسموت بورات افزایش یافت. دلیل این افزایش در $\chi^{(3)}$ و n_2 را می‌توان به افزایش تعداد اکسیژن probabilities, *Opt. Mater.* 18 (2002) 403–417.
- [12] M. Bengisu, Borate glasses for scientific and industrial applications: A review. *J. Mater. Sci.* 51 (2016) 2199.
 - [13] S. Mukamil, Ikram Ullah, C. Sarumaha, S.M. Wabaidur, M.A. Islam, S.A. Khattak, S. Kothan, M. Shoaib, I. Khan, I. Ullah, J. Kaewkhao, G. Rooh, Lead-borate glass system doped with Sm³⁺ ions for the X-ray shielding applications, *Results in Physics*, Volume 43 (2022) 106121.
 - [14] Z. I. Takaia, R. S. Kaundald, M. K. Mustafaa, S. Asmanb, A. Idrisf, Y. Shehue, J. Mohammadd, M. G. Idrisg, M. Saidc, Gamma Ray and FTIR Studies in Zinc Doped Lead Borate Glasses for Radiation Shielding Application, *Mat. Res.* 22 (1) (2019) 20180404.
 - [15] G. P. Singh, J. Singh, P. Kaur, T. Singh, R. Kaur, D.P. Singh, The role of lead oxide in PbO-B₂O₃ glasses for solid state ionic devices, *Materials Physics and Mechanics.* 47 (2021) 951-961.
 - [16] Y. S. Rammah, M. I. Sayyed, A. A. Ali, H. O. Tekin, R. El-Mallawany, Optical properties and gamma-shielding features of bismuth borate glasses, *Appl. Phys. A* 124 (2018) 832.
 - [17] M. Asri, M. Ahmadi, V. Zanganeh, Study of optical properties and comprehensive shielding behaviors for neutron and gamma-ray of 60Bi₂O₃-(40-x) B₂O₃-xBaO glass system, *Results Phys.* 52 (2023) 106824.
 - [18] M. G. Dong, M. I. Sayyed, G. Lakshminarayana, M. Çelikbilek Ersundu, A. E. Ersundu, P. Nayar and M. A. Mahdi, Investigation of gamma radiation shielding properties of lithium zinc bismuth borate glasses using XCOM program and MCNP5 code, *J. Non-Cryst. Solids.* 468 (2017) 12.
 - [19] M. I. Sayyed, G. Lakshminarayana, M. G. Dong, M. Çelikbilek Ersundu, A. E. Ersundu and I. V. Kityk, Investigation on gamma and neutron radiation shielding parameters for BaO/SrO–Bi₂O₃–B₂O₃ glasses, *Radiat. Phys.*

- Chem. 145 (2018) 26.
- [20] M. Kamislioglu, Research on the effects of bismuth borate glass system on nuclear radiation shielding parameters, *Results Phys.* 22 (2021) 103844.
- [21] N. M. Bobkova, Properties and structure of bismuth-borate glasses (review), *Glass and Ceramics.* 72 (2016).
- [22] S. B. Mallur, T. Czarnecki, A. Adhikari, P. K. Babu, Compositional dependence of optical band gap and refractive index in lead and bismuth borate glasses, *J. Mater. Res.* 68 (2015) 27.
- [23] I. Sharma, P. Sharma, A. S. Hassanien, Optical properties and optoelectrical parameters of the quaternary chalcogenide amorphous $\text{Ge}_{15}\text{Sn}_x\text{S}_{35-x}\text{Te}_{50}$ films, *J. Non-Cryst. Solids* 590 (2022) 121673.
- [24] R. El-Mallawany, Y.S. Rammah, F.I. El-Agawany, Sandro Marcio Lima, C. Mutuwong, M. S. Al-Buriahi, Evaluation of optical features and ionizing radiation shielding competences of $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ (TL) glasses via Geant4 simulation code and Phy-X/PSD program. *Opt. Mater.* 108 (2020) 110394.
- [25] S.A. Umar, M.K. Halimah, K.T. Chan, A.A. Latif, Polarizability, optical basicity and electric susceptibility of Er^{3+} doped silicate borotellurite glasses. *J. Non-Cryst. Solids* 471 (2017) 101–109.
- [26] V. Dimitrov, S. Sakka, Linear and nonlinear optical properties of simple oxides. II, *J. Appl. Phys.* 79 (1996) 1741.
- [27] J.A. Duffy, Bonding, Energy Level and Bonds in Inorganic Solids (Longman, England, 1990).
- [28] Marc Dussauze, Thierry Cardinal. Nonlinear optical properties of glass. J. David Musgraves; Juejun Hu; Laurent Calvez. Springer handbook of glass, Springer International Publishing (2019) 157-189.
- [29] H. Ticha, L. Tichy, Semiempirical relation between non-linear susceptibility (refractive index), linear refractive index and optical gap and its application to amorphous chalcogenides. *J. Optoelectron. Adv. Mater.* 4 (2002) 381–386.
- [30] K. Terashima, T. H. Shimoto, T. Yoko, Structure and nonlinear optical properties of $\text{PbO-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ glasses, *Phys. Chem. Glasses*, 38(4) (1997) 211.
- [31] Zhengda Pan, Steven H. Morgan, Bryan H. Long, *J. Non-Cryst. Solids* 185 (1995) 127-134.