مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۳- شماره ۱- سال ۱۳۹۷
www.ElitesJournal.ir

تفاوت خواص فیزیکی و اپتیکی غیرخطی بلورهای LiB_3O_5 و $KTioPo_4$

سید محمد حسینی[1*]، میلاد نوروزی[2]، پویان غیاثی[3]

۱-کارشناسی ارشد فیزیک اتمی و مولکولی،گروه فیزیک، دانشگاه ارومیه، کیلومتر ۱۱ جاده نازلو، ارومیه

۲-کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد،گروه فیزیک، دانشگاه ارومیه، کیلومتر ۱۱ جاده نازلو، ارومیه

۳-کارشناسی ارشد نانو فیزیک ،گروه فیزیک، دانشگاه ارومیه، کیلومتر ۱۱ جاده نازلو، ارومیه

*Hosseinysmohammad@gmail.com

ارسال: بهمن ۹۶ پذیرش: اسفند ۹۶

چکیده

در این مطالعه، به بررسی خواص فیزیکی و خواص اپتیکی غیرخطی دو بلور تری بورات لیتیم و فسفات تیتانیل پتاسیم پرداخته شده است و وجه تمایز این دو بلور مطرح شده است. از آنجاییکه این دو گونه بلور در شاخه ی اپتیک غیرخطی فیزیک دارای اهمیت خاص و ویژه ای می باشد لذا، کاربرد آنها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بلورهایی با خواصی مانند بلور تری بورات لیتیم به دلیل ضریب موثر غیرخطی پایین، شرایط در فرایندهای اپتیک غیرخطی را به خوبی برقرار می کنند. اما بلورهایی با خواصی مانند بلور فسفات تیتانیل پاسیم به دلیل ضریب موثر غیرخطی زیاد، شرایط در فرایندهای اپتیک غیرخطی را به خوبی برقرار نمی کند و دارای کاربردهای محدود می باشند.

کلمات کلیدی: خواص غیرخطی،اپتیک غیرخطی، آمیختگی فاز،LBO، KTP.

۱. مقدمه

اهمیت بررسی خواص فیزیکی و غیرخطی بلورهای تری بورات لیتیم[1] و فسفات تیتانیل پتاسیم[2] در اپتیک غیرخطی[3] و در فیزیک خود را نمایان می کند. ویژگی های ظاهری و فیزیکی این بلورها نقش مهمی در فرایندهای اپتیک غیرخطی از جمله تولید هارمونیک دوم[4]، ایفا می کند و همین ویژگی ها باعث می شود که این بلورها در فیزیک و اپتیک غیرخطی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین می توان گفت این بلورها از جمله پر کاربردترین بلورهای استفاده شده در اپتیک غیرخطی است.

اپتیک غیرخطی مطالعه برهمکنش نور شدید لیزر با ماده است. پدیده های اپتیکی غیرخطی از این جهت غیرخطی اند که وقتی اتفاق می افتند که پاسخ سیستم مادی به میدان نوری اعمال شده یک پاسخ غیرخطی باشد. در واقع اپتیک غیرخطی شاخه ای از اپتیک است که رفتار نور در ماده غیرخطی را توصیف می کند[۱]. آغاز شاخه اپتیک غیرخطی به کشف تولید هارمونیک دوم

---

[1] - Lithium Triborate (LBO) or LiB_3O_5
[2] - Potassium Titanyl Phosphate (KTP) or $KTioPo_4$
[3] - Nonlinear Optics
[4] -Second Harmonic Generation (SHG) or Frequency Doubling

توسط (فرانکن[1] وهمکارانش، ۱۹۶۱) بلافاصله بعد از به نمایش درآمدن نحوه کار اولین لیزر بر می گردد. پدیده های نوری غیرخطی از این جهت غیرخطی اند که وقتی اتفاق می افتند که پاسخ سیستم مادی به میدان نوری اعمال شده یک پاسخ غیرخطی باشند[۱].

یکی از فرایندهای اپتیک غیرخطی تولید هارمونیک دوم یا دو برابر سازی فرکانس می باشد. تولید هارمونیک دوم، تولید نور با فرکانس دو برابر(نصف طول موج)، با از بین رفتن دو فوتون یک فوتون با فرکانس دو برابر به وجود می آید. یعنی فرکانس فوتون در گذر از محیطی با رفتار غیرخطی(مانند بلورهای تری بورات لیتیم و فسفات تیتانیل پتاسیم) دو برابر می شود. در این فرایند انرژی فوتون دو برابر و طول موج آن نصف می شود[۱].

تولید هارمونیک دوم از جمله مهمترین فرایندهای اپتیک غیرخطی می باشد. برای هرچه بهتر شدن بازده ی فرایند تولید هارمونیک دوم، باید خواص فیزیکی بلورها را در نظر گرفت. با توجه به نوع بلور و خواص فیزیکی که از خود نشان می دهد، در محیط غیرخطی شرایط های مختلفی(از جمله: آمیختگی فاز، آمیختگی شبه فاز، جذب، پراش و...) ایجاد می شود. از جمله پژوهش های انجام شده برروی خواص فیزیکی و اپتیکی غیرخطی بلورهای غیرخطی می توان به (نیکوگوسین[2]، ۲۰۰۵)، (ولسکو و همکارانش[3]، ۱۹۹۱) و (فن و همکارانش[4]، ۱۹۸۷) اشاره کرد.

هدف از انجام این کار، بررسی و مطالعه خواص فیزیکی و اپتیکی غیرخطی بلورهای تری بورات لیتیم و فسفات تیتانیل پتاسیم و بررسی شرایط مختلف اعمال شده توسط این دوبلور در اپتیک غیرخطی می باشد. همچنین، با توجه به این دو بلور، بیان شده است که از چه بلورهایی می توان در اپتیک غیرخطی با توجه به خواصشان، استفاده کرد. لذا در ابتدا به بیان خواص فیزیکی و خواص اپتیکی غیرخطی این دوبلور پرداخته می شود.

۲. خواص فیزیکی تری بورات لیتیم

این بلور دارای خواص فیزیکی زیر می باشد[۸–۲]:

جدول ۱- خواص فیزیکی تری بورات لیتیم

خواص فیزیکی	کمیت
ساختار بلور	orthorhombic , Spacce Group $Pna2_1$, Point Group mm2
پارامترهای سلولی	a = 8.4473 Å b = 7.3788 Å c = 5.1395 Å
نقطه ذوب	833.3 °C
سختی	6 and 7 Mohs
چگالی	2.847 g/cm^2
ضریب جذب	0.00035 % /cm
حساسیت به رطوبت	Low
ضرایب موثرانبساط گرمایی	a = 66.4 $\times 10^{-6}$ /°k b = -52.8 $\times 10^{-6}$ /°k c = 27.3 $\times 10^{-6}$ /°k
رسانش گرمایی	3.5 w/m°k

همچنین خواص اپتیکی غیرخطی این بلور به شرح زیر بیان می شود[۸–۲]:

[1] -Franken
[2] -David.N. Nikogosyan: Nolninear Optival Crystals, (2005)
[3] -S.P. Velsko, M. Webb, L. Davis, C. Huang: phased-matched harmonic generation in LBO, (1991)
[4] -T.Y. Fan, C.E. Huang, B.Q. Hu, R.C Eckardt, Y.X. Fan, R.L. Byer, R.S. Feigelson: SHG and accurate index of refraction measurements in flux grown KT, (1987)

جدول ۲- خواص اپتیکی غیرخطی تری بورات لیتیم

خواص اپتیکی غیرخطی	کمیت
ضرایب موثر غیرخطی	$d_{31} = 0.67$ Pm/v $d_{32} = 0.85$ Pm/v $d_{33} = 0.04$ Pm/v
ضرایب موثر الکترواپتیکی	$r_{11} = 2.7$ Pm/v $r_{22} = < 0.1\ r_{11}$ Pm/v $r_{31} = < 0.1\ r_{11}$ Pm/v
آستانه تخریب	25 Gw/cm^2
ضریب شکست	$n_x = 1.56487$ $n_y = 1.59072$ $n_e = 1.60515$
ضریب شکست غیرخطی	$0.19 \pm 0.04 \times 10^{15}$ cm^2/w (at 850 nm)

کاربردهای این بلور بیشتر در تولید هارمونیک دوم در تابش های نزدیک به تابش فروسرخ[۱] و در نوسان پارامتری نور[۲] در تابش های مرئی[۳] و در تابش های نزدیک به تابش فروسرخ می باشند[۸].

۳. خواص فیزیکی فسفات تیتانیل پتاسیم

این بلور دارای خواص فیزیکی زیر می باشد[۱۳–۸]:

جدول ۳- خواص فیزیکی فسفات تیتانیل پتاسیم

خواص فیزیکی	کمیت
ساختار بلور	orthorhombic , Spacce Group $Pna2_1$, Point Group mm2
پارامترهای سلولی	a = 12.822 Å b = 6.4054 Å c = 10.589 Å
نقطه ذوب	1149 °C
سختی	5 Mohs
چگالی	3.03 g/cm^2
ضریب جذب	< 0.006 % /cm
حساسیت به رطوبت	No
ضرایب موثرانبساط گرمایی	$a = 8.7 \times 10^{-6}$ /°k $b = 10.5 \times 10^{-6}$ /°k $c = - 0.2 \times 10^{-6}$ /°k
رسانش گرمایی	3 w/m°k

[1] - Inferared Radiation
[2] - Optical Parametric Oscillation (OPO)
[3] -Visible Radiation

همچنین خواص اپتیکی غیرخطی این بلور به شرح زیر بیان می شود[۱۳–۸]:

جدول ۴- خواص اپتیکی غیرخطی فسفات تیتانیل پتاسیم

خواص اپتیکی غیرخطی	کمیت
ضرایب موثر غیرخطی	$d_{31} = 2.2$ Pm/v $d_{32} = 3.7$ Pm/v $d_{33} = 14.6$ Pm/v
ضرایب موثر الکترواپتیکی	$r_{13} = 8.8$ Pm/v $r_{23} = 13.8$ Pm/v $r_{33} = 35$ Pm/v
آستانه تخریب	0.15 Gw/cm^2
ضریب شکست	$n_x = 1.7379$ $n_y = 1.7454$ $n_e = 1.8297$
ضریب شکست غیرخطی	1.14×10^{15} cm^2/w

یکی از مهمترین بلورهای اپتیک غیرخطی فسفات تیتانیل پتاسیم می باشد. کاربردهای این بلور بیشتر در آمیختگی شبه فاز تولید هارمونیک دوم، آمیختگی شبه فاز تولید فرکانس مجموع[1] و آمیختگی شبه فاز نوسان پارامتری نور می باشد[۸].

۴. مقایسه خواص تری بورات لیتیم و فسفات تیتانیل پتاسیم

خواص فیزیکی و اپتیک غیرخطی در جداول ۱و ۲و ۳و ۴ همگی در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر اندازه گیری شده اند. با توجه به مقایسه خواص دو تک بلور تری بورات لیتیم و فسفات تیتانیل پتاسیم، مشخص می شود که خواص فیزیکی و اپتیکی غیرخطی آنها تفاوت های زیادی دارند اگر چه که از یک خانواده و دارای یک ساختار هستند. همین تفاوت هاست که برای دانشمندان محدودیت هایی در فرایندهای اپتیک غیرخطی ایجاد میکند و کاربردهای این دو بلور را از هم متمایز و متفاوت می نماید. با توجه به جداول ۱و ۳ مشخص می شود که، بلور تری بورات لیتیم دارای نقطه ذوب کمتری نسبت به بلور فسفات تیتانیل پتاسیم می باشد.البته این ویژگی، یکی از نقاط ضعف بلور تری بورات لیتیم نسبت به بلور فسفات تیتانیل بورات می باشد که دانشمندان را در استفاده از این بلور با محدودیت مواجه می کند. همچنین با توجه به جداول ۱و ۳، مشخص می شود که سختی فیزیکی بلور تری بورات لیتیم بیشتر از بلور فسفات تیتانیل پتاسیم می باشد و این ویژگی یکی از محسنات این بلور نسبت به بلور فسفات تیتانیل پتاسیم می باشد. البته چگالی بلور تری بورات لیتیم کمتر از بلور فسفات تیتانیل پتاسیم می باشد. همچنین بلور تری بورات لیتیم دارای ضریب جذب کمتری نسبت به بلور فسفات تیتانیل پتاسیم است که در فرایندهای اپتیکی غیرخطی، قابل توجه می باشد. حساسیت به رطوبت در بلور تری بورات لیتیم کم است اما در بلور فسفات تیتانیل پتاسیم اصلا وجود ندارد. این نکته قابل اهمیت است که در فرایندهایی که وجود حساسیت به رطوبت در آنها اهمیت دارد، باید از بلوری همچون تری بورات لیتیم استفاده کرد و در فرایندهایی که نباید حساسیت به رطوبت وجود داشته باشد، باید از بلورهایی مانند فسفات تیتانیل پتاسیم استفاده کرد. با توجه به جداول ۲و ۴، می توان به خوبی متوجه ضریب شکست بالاتر فسفات تیتانیل پتاسیم نسبت به تری بورات لیتیم شد. این ویژگی بیان می کند که بلور تری بورات لیتیم برای انتشار نور در تولید هارمونیک دوم بهتر از بلور فسفات تیتانیل پتاسیم می باشد. مهمترین تفاوتی که این دو بلور را از هم متمایز میکند ضریب موثر غیرخطی آنهاست. در جدول۴ مشاهده می شود که بلور فسفات تیتانیل پتاسیم دارای ضریب شکست زیادی می باشد که d_{33} آن بیشتر از ده واحد نسبت به سایر ضریب شکست هایش می باشد. این موضوع محدودیتی را در استفاده از این بلور در فرایندهای اپتیک غیرخطی ایجاد می کند. این محدودیت اجازه نمی دهد که شرط آمیختگی فاز کامل در چنین بلورهایی برقرار شود. در اکثر فرایندهای اپتیک غیرخطی اگر شرط

[1] - Diffrence Frequency Generation (DFG)

آمیختگی فاز برقرار نباشد کاهش چشم گیری در بهره های تبدیل رخ می دهد و بازده ی آنها دچار کاهش محسوسی می شود. در چنین بلورهایی باید از تکنیک آمیختگی شبه فاز استفاده کرد که یک روش جهت جبران غیاب شرط آمیختگی فاز می باشد. از این رو کاربردهای اینگونه بلورها اکثر در جاهایی است که بتوان شرط آمیختگی فاز را اعمال کرد. تعداد کمی از بلورها دارای ضریب موثر غیرخطی پایین می باشند و به تبع آن شرط آمیختگی فاز را به خوبی برقرار می کنند. بلوری مانند تری بورات لیتیم این محدودیت را ندارد و شرط آمیختگی فاز را به خوبی برقرار می کند. دانشمندان به دلیل محدودیت هایی که ذکر شد بسته به نوع عملکرد دو بلور، دارای حق انتخاب نسبت به نوع بلور جهت استفاده در فرایندهای اپتیک غیرخطی می باشند. به عنوان مثال دانشمندان از بلور تری بورات لیتیم در تولید هارمونیک دوم زمانیکه بخواهند شرط آمیختگی فاز برقرار باشد استفاده کرده و می توانند طول موج ۹۸۰ را به ۴۹۰ تبدیل نمایند. کاربردهای بلور تری بورات لیتیم در اپتیک غیرخطی به دلیل نداشتن محدودیت آمیختگی فاز بیشتر از بلور فسفات تیتانیل پتاسیم می باشد.

۵. نتیجه گیری

با توجه به خواص فیزیکی و اپتیکی غیرخطی ذکر شده دو بلور فسفات تیتانیل پتاسیم و تری بورات لیتیم می توان نتیجه گرفت که اگر یکی از ضرایب موثر غیرخطی بلوری بیشتر از ده واحد بیشتر از سایر ضرایب موثر غیرخطی دیگرش باشد، آن بلور نمی تواند شرط آمیختگی فاز را در فرایندهای اپتیک غیرخطی فیزیک به درستی برقرار کند و باید در چنین بلورهایی از شرط آمیختگی شبه فاز استفاده کرد. اگر در فرایندی شرط آمیختگی فاز به درستی برقرار نباشد بنابراین دارای کاهش محسوسی در بهره تبدیل آنها می شود . بازده فرایند دچار کاهش و نقص می شود. پس باید در فرایندهای اپتیک غیرخطی از بلورهایی استفاده شود که دارای محدودیت فیزیکی و اپتیکی نباشند. اگر در بلوری محدودیت وجود داشته باشد به تبع آن دارای کاربردهای کمتری در فرایندهای اپتیک غیرخطی می باشد. بلور تری بورات لیتیم به دلیل نداشتن محدودیت از کاربردهای ویژه ای در فیزیک به نسبت بلور فسفات تیتانیل پتاسیم برخوردار می باشد. بنابراین توصیه می گردد از بلورهایی که رفتار آنها شبیه به بلور تری بورات لیتیم می باشد جهت اعمال شرط آمیختگی فاز در فرایندهای اپتیک غیرخطی استفاده شود. همچنین توصیه می گردد که از بلور فسفات تیتانیل پتاسیم جهت اعمال شرط آمیختگی شبه فاز در فرایندهای اپتیک غیرخطی استفاده شود، اگر چه که این نوع فرایندها کم و محدود می باشند.

۶. مراجع

1. Boyd, R.W. (1992). Nonlinear Optics, Academic Press, pp 1.
2. N.XU,Y. and Ching,W.Y.(1990). Electronic structure and optical properties of LiB3o5, Physc.Rev, B41(8),5471-5474.
3. Chai,B.H.T.(1995). Optical crystals, CRC Handbook of Laser Science and Technilogy,pp 3-65.
4. Velsko,S.P. and Webb, M. and Davis,L. and Huang,C.(1991). Phase-matched harmonic generation in lithium triborate(LBO), IEEE J.Quant Electro, 29(9),2182-2192.
5. Roberts,D.A.(1992). Simplified characterization of uniaxial and biaxial nonlinear optical crystals, IEEE J.Quant Electro, 28(10),2054-2074.
6. Chen,C. and Wu,Y. and Jiang,A. and Wu,B. and You,G. and Lin,R.(1989). New nonlinear-optical crystal LiB3o5, J.Opt.Soc.Am, B6(4),616-621.
7. Sheik-Bahae,M. and Ebrahimzadeh, M.(1997). Measurments of nonlinear refraction in the second-order $x^{(2)}$ materials, Opt.Commun, 142(4-6),294-298.
8. Nikogosyan,D.N.(2005). Nonlinear Optical Crystals. Springer, pp 5–54.
9. Cheng,L.K. and McCarron111,E.M. and Calabrese,J. and Bierlein,J.B. and Mallman,A.A.(1993). Development of the nonlinear optical crystal CsTioAso4, I.Structure stability.J.Crystal Growth, 132(1-4),280-288.
10. Dovchenko,D.N. and Dyakov,V.A. and Pryalkin,V.I.(1989). Efficient second harmonic generation in KTP crystals, J.Opt.Soc.Am, B3(5),683-686.

11. Bierlein,J.D. and Vanherzeele, H.(1989). Potassium titanyl Phosphate, J.Opt.Soc.Am, B6(4),622-633.

12. Driscoll,T.A. and Hoffman,H.J. and Stone,R.E. and Perkins,P.E.(1993). Development of the nonlinear optical crystal CsTioAso4, I.Structure stability.J.Crystal Growth, 132(1-4),280-288.

13. Shen,H.Y. and Zhou,Y.P. and Lin,W.X. and Zeng,Z.D. and Zeng,R.R. and Yu,G.F. and Huang,C.H. and Jiang,A.D. and Jia,S.Q. and Shen,D.Z.(1992). Second harmonic generation and sum frequency mixing of dual wavelength Nd:YALo3 Laser in flux grown KtioPo4 crystal, IEEE j.Quant.Electr, 28(1),45-51.