خواص بلور غیرخطی BBO و اندازه‌گیری پهنای تپ لیزر فوق‌کوتاه.

الهام نقدی[۱]، ابراهیم صادقی[۱]، حمید نادگران[۲]، صدیقه ملک محمدی[۳]، مهدی موسوی[۲]

[۱] گروه فیزیک، دانشگاه یاسوج، ایران

[۲] گروه فیزیک، دانشگاه شیراز، ایران

[۳] گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، ایران

چکیده - خواص نوری بلور غیرخطی *BBO*، جهت تولید هماهنگ دوم مؤثر از تپ‌های فوق کوتاه با طول موج ۸۰۰ نانومتر بررسی شده است. ضریب مؤثر غیرخطی، واگرایی مجاز، تغییرات زاویه *Walk-off* و شرایط جورشدگی فاز برای این بلور تعیین شده است. بلور مورد نظر در سامانه خودهمبسته‌ساز تداخلی برای اندازه‌گیری پهنای زمانی تپ لیزر *Ti:sapphire* به کار برده شده و سیگنال خودهمبستگی مرتبه دوم اندازه‌گیری شده است.

کلید واژه- بلور BBO، تولید هماهنگ دوم، خودهمبسته‌ساز تداخلی.

BBO nonlinear crystal properties and measurement of pulse duration of ultra-short laser.

E. Naghdi[1], E. Sadeghi[1], H. Nadgaran[2], S. M. Mohammadi[3], M. Mousavi[2]

[1] Department of physics, Yasuj University, Yasuj, Iran

[2] Department of physics, Shiraz University, Shiraz, Iran

[3] Department of physics, Isfahan University, Isfahan, Iran

Abstract- The nonlinear optical properties of BBO for second harmonic generations of femtosecond laser pulses at 800 nm were investigated. The effective nonlinear coefficient, angular acceptance, walk-off angle and effective phase matching conditions have been reported. The crystal has been used for generating of Ti:Sapphire second harmonic and it's pulse duration.

Keywords: BBO crystal, Second harmonic generation, Interferometric autocorrlation.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-04]

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

۱- مقدمه

با توسعه تکنولوژی لیزر و رشته‌های مرتبط، درک درستی از روابط و ویژگی‌های ساختاری بلورهای غیرخطی مهم‌تر شده است. خصوصیات الکترونیکی از جمله چگالی الکترونی، ساختار نواری، چگالی حالت‌ها و خواص اپتیکی متفاوت در بلورها منجر به رفتارهای متفاوتی در آن‌ها می‌شود. یکی از کاربردهای مهم این بلورها، تولید هماهنگ دوم (SHG) از امواج اصلی لیزرها، با پهنای زمانی و طول‌موج گوناگون است. همچنین رفتارهای غیرخطی نوری، کاربرد فراوانی در پردازش سیگنال‌های نوری دارند. از جمله می‌توان به مدولاسیون دامنه و فرکانس، مقایسه، اصلاح شکل تپ، تولید هماهنگ های بالاتر یا فرکانس‌های جمع و تفاضل اشاره کرد. بازده و کیفیت بالای نور خروجی از بلور و خصوصیات ذاتی آن در بدست آوردن نتایج بهینه بسیار مؤثر است. در این مقاله ویژگی‌های غیرخطی و تولید SHG از لیزر Ti:sapphire در بلور BBO جهت اندازه‌گیری پهنای زمانی تپ لیزر فوق‌کوتاه بررسی شده است.

۲- فرآیند تولید هماهنگ دوم SHG

در فرآیند SHG نور با فرکانس زاویه‌ای ω به قطعه تابیده می‌شود و در اثر خواص غیرخطی، نوری با فرکانس زاویه‌ای 2ω در ماده تولید می‌شود. SHG به دو روش تقسیم می‌شود. در نوع I، دو فوتون با قطبش یکسان هماهنگ دوم با قطبش عمود تولید می‌کنند (ooe یا eeo). در نوع II، دو فوتون با قطبش عمود بر هم SHG تولید می‌کنند (oeo ,oee ,eoo یا eoe) [۱]. برای تولید SHG از سیگنال پایه دو شرط باید برقرار شود. شرط اول بقای انرژی است. دو فوتون با انرژی‌های متناسب با ω با هم یک فوتون با انرژی متناسب با 2ω تولید می‌کند. شرط دوم بقای اندازه حرکت است. اگر اندازه حرکت نور ورودی k_p و اندازه حرکت نور خروجی در هماهنگ دوم k_s باشد شرط جورشدگی فاز را می‌توان به صورت $k_s - 2k_p = 0$ بیان کرد، که شرط جورشدگی فاز کامل است. از آنجایی که $k_{p\,or\,s} = \frac{2\pi\, n_{p\,or\,s}}{\lambda_{p\,or\,s}}$ است (n ضریب شکست و λ طول موج نور است که اندیس p و s به ترتیب مربوط به نور ورودی و خروجی می‌باشند.) بنابراین باید $n_s = n_p$ باشد. با توجه به پدیده‌ی پاشندگی در ماده، برقراری این شرط بعید است زیرا در اغلب موارد با افزایش فرکانس، ضریب شکست ماده نیز افزایش می‌یابد ($n_p < n_s$). یک راه حل برای برطرف کردن مشکل جورشدگی فاز، استفاده از دوشکستی بودن ماده است که ضریب شکست آن برای قطبش‌های مختلف نوری متفاوت است و می‌توان با انتخاب جهت قطبش نور ورودی و زاویه برش مناسب به جورشدگی فاز کامل رسید [۱-۳].

۱-۲- بررسی بلور BBO از خانواده بورات

خانواده بلورهای بورات بدلیل شفافیت کافی در ناحیه UV ، ضرایب غیرخطی نوری بزرگ، پایداری حرارتی بالا، ویژگی‌های مکانیکی و آستانه آسیب‌پذیری بالا یکی از کارآمدترین بلورها برای تبدیل فرکانس در ناحیه UV هستند. BaB_2O_4(BBO) بلور برجسته از این خانواده است [۱]. پهنای باند طیفی وسیع و گاف نواری بزرگ باعث شده نسبت به دیگر بلورهای غیرخطی از این بلور برای تولید طول‌موج‌های نسبتاً کوتاه استفاده شود. ضرایب شکست عادی و غیرعادی از ضرایب سلمایر بدست می‌آیند [۱]. ساختار کریستال غیرخطی و وجود آن عامل اصلی به‌وجود آورنده سیگنال SHG در سامانه اندازه‌گیری تپ فوق‌کوتاه است. جهت تولید SHG لیزر Ti:sapphire که طول‌موج مرکزی آن ۸۰۰nm است ویژگی‌های اپتیکی این بلور را بررسی کردیم. در ادامه چیدمان آزمایشگاهی و نتایج اندازه‌گیری پهنای زمانی تپ فوق‌کوتاه این لیزر نیز آورده شده است.

جدول ۱: ویژگی فیزیکی و ساختاری بلور BBO [۱-۲]

گستره شفافیت	۱۹۰ -۳۵۰۰(nm)
ساختار الکترونی	Trigonal
گاف انرژی	۶,۴۲(eV)
نوع بلور	تک محوری منفی
دمای ذوب	۱۰۹۵(ºC)
آستانه آسیب لیزری @۱۰۶٤nm, ۱,۳ns	۱۰(GW/cm²)

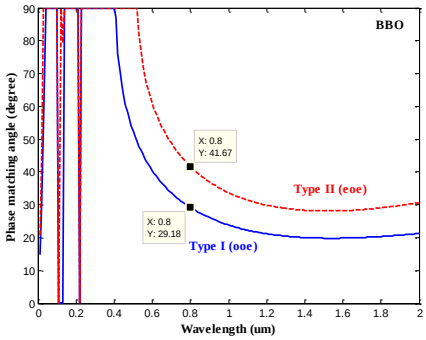
۲-۲- شبیه‌سازی ویژگی‌های غیرخطی BBO

زاویه جورشدگی فاز برای نوع I و II در محدوده طول موجی ۰ تا ۲ μm در شکل (۱) نمایش داده شده است (روابط مورد استفاده از مراجع ذکر شده در زیر شکل‌ها است). انتخاب یک ماده غیرخطی با تأکید بر اندازه ضریب مؤثر غیرخطی صورت می‌گیرد. ضریب مؤثر غیرخطی به ویژگی،

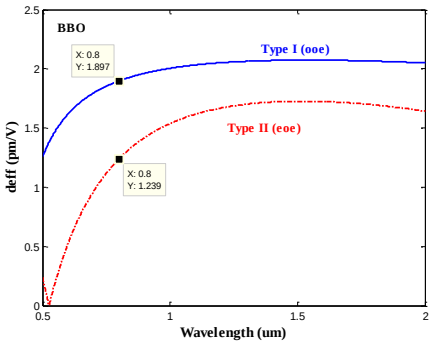
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-04]

ساختار بلور، جهت انتشار پرتو در بلور غیرخطی و نوع قطبش پرتوها بستگی دارد که در شکل ۲ بررسی شده است (شدت نور SHG با توان دوم ضریب مؤثر غیرخطی رابطه مستقیم دارد).

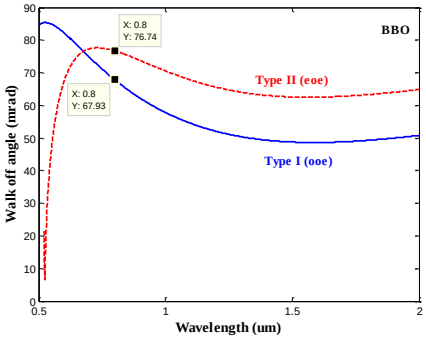


شکل ۱: نمودار جورشدگی فاز بلور BBO جهت تولید SHG [۱و۳].

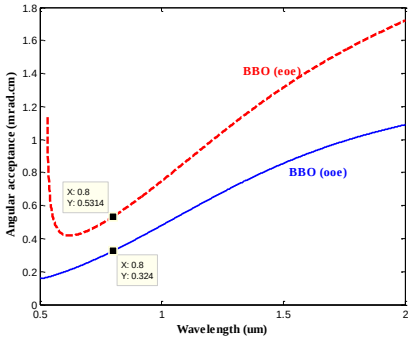


شکل ۲: تغییر ضریب مؤثر غیرخطی نسبت به طول‌موج برای بلور BBO [۱و۴].

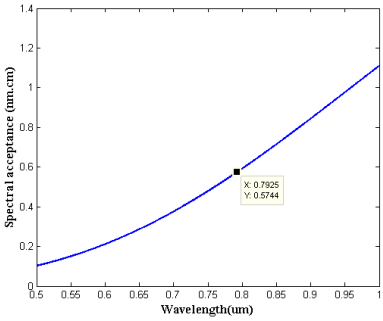
یک اثر مهم که برای تولید SHG باید بررسی شود زاویه Walk-off است و به این دلیل اتفاق می‌افتد که بردار پوئینتینگ موج غیرعادی منتشر شده در بلور دوشکستی، با بردار انتشار آن موازی نیست. این اثر بازده تبدیل نور غیرخطی را محدود می‌کند و پرتوهای عادی و غیرعادی که دارای بردار انتشار هم‌راستا و موازی هستند، هنگامی که از بلور عبور می‌کنند، کاملاً از هم جدا می‌شوند که این کاهش همپوشانی فضایی دو موج را به دنبال خواهد داشت و منجر به کم شدن بازده در هر فرآیند ترکیب غیرخطی که شامل چنین امواجی هستند می‌شود (شکل ۳). پارامتر مهم دیگر برای دستیابی به بازده تبدیل و توان خروجی بالا در فرآیند SHG ، پهنای پذیرش جورشدگی فاز طیفی و فضایی است. این پارامترها دامنه تغییرات جورشدگی فاز برای گستره فضایی و طیفی باریکه ورودی را تعریف می‌کنند (شکل ۴و۵). جهت تولید SHG از لیزر ۸۰۰nm با استفاده از بلور BBO، با توجه به نتایجی که از نمودارها بدست آمد جورشدگی فاز نوع I (ooe) با زاویه ۲۹,۲ که دارای ضریب مؤثر غیرخطی بزرگتر و همچنین زاویه Walk-off کوچکتر است را انتخاب می‌کنیم.



شکل ۳: تغییر زاویه Walk-off بلور در طول‌موج‌های متفاوت [۱و۴].



شکل ۴: تغییر واگرایی مجاز بلور برای طول‌موج‌های متفاوت[۱و۴].



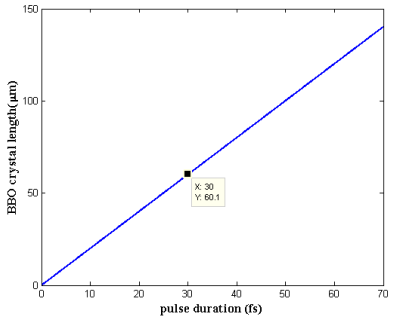
شکل ۵: تغییرات پهنای پذیرش طیفی مجاز بلور BBO نوع I [۱].

طول بلور به دلیل اینکه با بازده تبدیل، پهنای باند جورشدگی فاز و پدیده‌های پاشندگی سرعت گروه و عدم جورشدگی سرعت گروه رابطه دارد عامل مهمی در اندازه-گیری پهنای زمانی تپ فوق‌کوتاه است. هر چه طول بلور کمتر باشد پهنای باند پذیرش طیفی بیشتر است. برای لیزرهای فوق‌کوتاه به دلیل داشتن پهنای طیفی وسیع در حدود چند نانومتر نیاز به بلور با ضخامت در مرتبه میکرومتر داریم. طول بهینه (طولی با بیشترین بازده SHG)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-04]

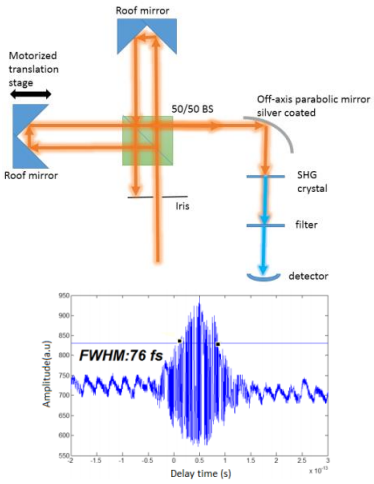
به ازای پهنای تپ متفاوت برای تپ‌هایی با شکل فرضی گاوسی برای بلور مورد نظر شبیه سازی شده است.



شکل ۶: تغییرات طول بلور بر حسب پهنای زمانی متفاوت تپ[۱و۳].

۳-۲- نتایج تجربی

یکی از کاربردهای SHG تپ‌های فوق‌کوتاه، اندازه‌گیری پهنای تپ در خودهمبسته‌ساز (Autocorrelator) مرتبه دوم است که ابزاری جهت اندازه‌گیری پهنای زمانی لیزرهای فوق‌کوتاه است. پاسخ زمانی سریعترین آشکارسازها تنها در حد چند پیکوثانیه است بنابراین توانایی اندازه‌گیری تپ‌هایی در حد فمتوثانیه را ندارند. از این‌رو در کنار هر لیزر فوق‌کوتاه یک ابزار مناسب جهت اندازه‌گیری پهنای تپ آن نیاز است [۳و۵]. چیدمان آزمایشگاهی خود-همبسته‌ساز تداخلی بر مبنای فرآیند غیرخطی SHG برپا شد. بلور BBO نوع I با زاویه برش ۲۹,۲ و ضخامت μm ۲۰۰ نازکترین بلور موجود در آزمایشگاه برای تولید SHG لیزر با طول موج ۸۰۰nm و پهنای تپ ۳۰fs استفاده شد در صورتی که ضخامت لازم برای برآورده کردن شرط جورشدگی فاز برای تپ ۳۰fs حدود μm ۶۰ تخمین زده شده است. این بلور دارای تحمل دمایی بالا، جذب اندک و سختی مناسب برای برش در ضخامت میکرومتر است و برای تولید SHG در ناحیه آبی کاربرد دارد بنابراین گزینه مناسبی برای کاربرد در خودهمبسته‌ساز تداخلی است. برای اندازه‌گیری سیگنال خودهمبستگی باید نور در طول-موج ۸۰۰nm را به طور کامل فیلتر کرد و فقط نور آبی را با استفاده از یک photo multiplier tube (PMT) آشکارسازی و سیگنال خودهمبستگی را ثبت کرد. با استفاده از FWHM این سیگنال و فرض شکل تپ، پهنای تپ لیزر محاسبه می‌شود. میزان پاشندگی سرعت گروه المان‌های اپتیکی که موجب پهن‌شدگی تپ لیزر می‌شود، محاسبه و تصحیحات در اندازه‌گیری تپ لیزر اعمال می-شود. شکل ۷ سیگنال خودهمبستگی مرتبه دوم را نشان می‌دهد. مقدار پهنای زمانی تپ لیزر با فرض گاوسی برابر ۳۹fs بدست آمد که به دلیل استفاده از بلور با طول نامناسب پهنای تپ بدست آمده از مقدار واقعی بزرگتر است.



شکل ۷: سیگنال خودهمبستگی ثبت شده و چیدمان تجربی [۳و۵].

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله فرآیند غیرخطی SHG در بلور BBO برای اندازه‌گیری پهنای تپ ۳۰fs بررسی شد. با توجه به نتایجی که از نمودارها بدست آمد جورشدگی فاز نوع I را جهت SHG انتخاب می‌کنیم. ضخامت نازک بلور منجر به کاهش بازده SHG می‌شود و نور آبی تولید شده توسط PMT آشکارسازی شد.

مراجع

[1] V. G. Dmitriev, G. G. Gurzadyan, D. N. Nikogosyan, *Handbook of Nonlinear Optical Crystals*, springer Third Revised Edition, 1990.

[2] R Akbari, A Major, Optical, “spectral and phase-matching properties of BIBO, BBO and LBO crystals for optical parametric oscillation in the visible and near-infrared wavelength ranges”, Laser Phys., Vol 23, pp.035401-035409, 2013.

[۳] ص. ملک محمدی و همکاران، " جذب دو فوتونی تپ‌های فمتوثانیه در LED و ساختن خودهمبسته‌ساز بر مبنای TPA"، ۲۳امین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۹۵.

[4] M. Ghotbi and M. Ebrahim-Zadeh, "Optical second harmonic generation properties of BiB_3O_6", Opt. Express. **12**, 6002-6019 (2004).

[5] ص. ملک محمدی و همکاران، " طراحی و ساخت اتوکرلیتور تداخلی فمتوثانیه به روش تولید هماهنگ دوم"، ۲۲امین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، دانشگاه یزد، یزد، ۱۳۹۴.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-04]