

## اندازه‌گیری ضرایب نوری غیرخطی شیشه‌های چلکاجنید به روش

## جاروب-Z و روش ترکیب چهار موج تبهگن DFWM

عبدالناصر ذاکری، بهروز حسینی و سید ابراهیم پورمند

بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز  
پست الکترونیکی: zakeri@physics.succ.ac.ir

(دریافت مقاله ۸۲/۱/۱۹ ؛ دریافت نسخه نهایی: ۸۳/۷/۱۳)

## چکیده

شیشه‌های چلکاجنید از قبیل سولفید آرسنیک به علت دارا بودن ضریب شکست غیرخطی بالا اخیراً توجه زیادی را برای کاربردهای سوئیچینگ به خود جلب نموده‌اند. با استفاده از دو روش جاروب-Z و روش ترکیب چهار موج تبهگن ضرایب ثابت نوری شیشه‌های سولفید آرسنیک  $As_2S_3$  در دو شکل لایه نازک و کپه‌ای (Bulk) محاسبه گردیده‌اند. این محاسبات بر اساس برازش نتیجه‌های تجربی و روابط نظری حاصل شده‌اند. هم‌خوانی خوبی بین نتایج به دست آمده از دو روش بالا دیده می‌شود. ضریب شکست غیرخطی  $\beta = 0.29 \text{ cm}^2/\text{GW}$  و ضریب جذب غیرخطی  $\gamma = 1.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{W}$  بدست آمده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ضرایب ثابت نوری غیرخطی شیشه‌های چلکاجنید، روش جاروب-Z و ترکیب چهار موج تبهگن

## ۱. مقدمه

(دارای ضریب شکست غیرخطی بالا باشد). همچنین باید دارای پاسخ سریعی به شدت نور تابشی (در محدوده زیر پیکو ثانیه) باشد. افت‌های موجود مربوط به جذب تک فوتونی و یا چند فوتونی و همچنین پراکندگی باید قابل تحمل باشند. برای نشان دادن اهمیت این افت‌ها فاکتورهای شایستگی را می‌توان تعریف نمود که به ماکزیمم تغییر فاز غیر خطی  $\Delta\Phi$  مربوطند،

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^L n_2 I(z) dz \quad (1)$$

$\Delta\Phi$  از مرتبه  $\pi$  برای کاربردهای سوئیچینگ مورد نیاز است. برای جذب تک فوتونی به عنوان مهمترین عامل افت باید عمق جذب را به صورت  $\alpha^{-1}$  (که  $\alpha$  ضریب جذب است) تعریف نمود و فاکتور شایستگی  $W$  را به آن ربط داد:

$$W = \frac{n_2 I_{sat}}{\alpha \lambda} \quad (2)$$

جذابیت مواد با خواص غیرخطی مرتبه سوم برای کاربردهای سوئیچینگ موضوع تحقیقات متعددی در سالهای اخیر شده است. از میان مواد موجود شیشه‌های چلکاجنید به علت دارا بودن ضریب شکست غیرخطی بالا توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند. شیشه‌های چلکاجنید آلیاژ عناصر چلکاجن یعنی سولفور، سلنیم و تولریم با عناصری از قبیل آرسنیک، ژرمانیم و غیره می‌باشند. از میان پارامترهای مهم که شکست غیرخطی را نشان می‌دهند تغییر ضریب شکست در اثر وجود قسمت حقیقی پذیرفتاری مرتبه سوم  $\text{Re}[\chi^{(3)}]$  می‌باشد. برای اینکه یک ماده با خاصیت غیرخطی مرتبه سوم برای کاربردهای سوئیچینگ جذاب باشد باید دارای پاسخ غیرخطی قوی باشد

ماده اولیه هدف برای لایه نشانی قرصهای  $As_2S_3$  بود که توسط کمپانی مواد آمورف (Garland TxV5042) تهیه شده بود. فیلمهای با ضخامت ۱ تا ۵ میکرون روی زیر لایه سیلیکای ذوب شده توسط لایه نشانی لیزری فوق سریع نشانده شدند [۱۰]. ترکیب شیمیایی لایه‌های نشانده شده و همچنین ماده هدف توسط دو روش پراکندگی عقبی راترفورد (RBS) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تعیین شدند. در هر دو حالت ترکیب شیمیایی ماده هدف با یک درصد اتمی و ترکیب شیمیایی لایه‌ها تا ۱/۵ درصد اتمی با اندازه‌های انتظار داشته متفاوت بودند. البته لایه‌های نشانده شده معمولاً کمبود سولفور داشتند که این موضوع در کارهای قبلی نیز دیده شده بود [۳].

## ۲. آزمایش

### ۲.۱. روش جاروب-Z

روش جاروب-Z روشی است که برای اندازه‌گیری خواص غیرخطی مرتبه سوم که در آن نمونه در مسیر پرتو لیزری روبش می‌شود به کار می‌رود [۴]. این پرتو توسط یک عدسی روی نمونه، کانونی شده و شدت عبوری میدان دور (far field) به وسیله یک آشکار ساز که در جلوی آن روزه‌ای قرار دارد اندازه‌گیری می‌شود. به علت خاصیت غیر خطی، نمونه رفتاری شبیه یک عدسی مثبت و یا منفی به ترتیب در مورد خود کانونی شدن و یا عکس آن از خود نشان می‌دهد که شدت نور را در صفحه روزه تغییر می‌دهد (شکل ۱).

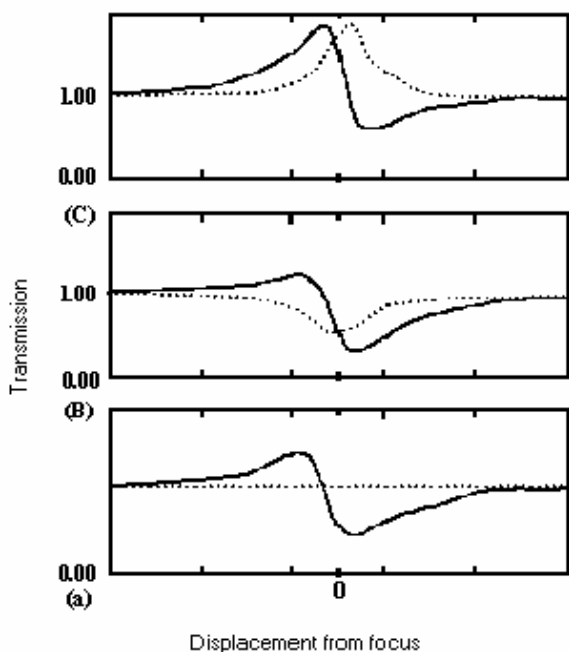
در شکل ۱ اصول کار اندازه‌گیری برای حالت  $n_2 > 0$  (خود کانونی شدن) بیان شده است. به علت تغییر شدت نور بر روی نمونه در اثر کانونی شدن پرتو توسط عدسی، توان عدسی غیرخطی القا شده در نمونه نیز با تغییر فاصله نمونه نسبت به کمر پرتو تغییر می‌نماید. قرار دادن یک عدسی القایی مثبت قبل از کمر پرتو آن را نزدیکتر می‌آورد و بنابراین شدت میدان دور (far field) در صفحه روزه کاهش می‌یابد، در حالی که قرار دادن همان عدسی القایی بعد از کمر پرتو شدت میدان دور را افزایش می‌دهد.

که  $\lambda$  طول موج و  $n_2$  ضریب شکست غیرخطی و  $I_{sat}$  شدتی است که به ازای آن تغییرات ضریب شکست به حالت اشباع می‌رسد. معمولاً  $W \gg \lambda$  مورد نیاز است. برای مواد با افتهای غیرخطی (مواد با جذب دو فوتونی قوی) عمق جذب را می‌توان به صورت  $(BI.)^{-1}$  تعریف نمود که در آن  $\beta$  ضریب جذب غیرخطی دو فوتونی و  $I$  شدت تابشی است. در این حالت فاکتور شایستگی T مطابق زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{1}{T} = \frac{n_2}{\beta \lambda} \quad (3)$$

در این حالت  $T \ll 1$  به عنوان شرط قابل قبول پذیرفته شده است.

اندازه‌گیریهای غیرخطی را می‌توان هم روی لایه‌های نازک و هم روی ماده کپه‌ای انجام داد. در کار حاضر دو روش ترکیب چهار موج تبهگن (DFWM) و جاروب-Z (z-scan) به کار گرفته شده‌اند. روش جاروب-Z به خصوص وقتی مفید است که ضریب شکست غیرخطی با ضریب جذب غیرخطی همراه است. یکی از مزایای این روش این است که سیگنال جاروب Z- به صورت خطی به تغییر فاز غیرخطی  $\Delta\Phi$  مربوط است ولی استفاده از روش جاروب-Z برای لایه‌های نازک چلکاجنید بسیار مشکل است زیرا احتیاج به شدتهای بسیار بالا و تغییرات بسیار بالای ضریب شکست می‌باشد تا بتوان یک سیگنال قابل اندازه‌گیری را به دست آورد. روش ترکیب چهار موج تبهگن که با استفاده از پالسهای لیزری فمتو ثانیه انجام می‌شود یک روش مناسب برای مطالعه پاسخ غیرخطی مرتبه سوم لایه‌های نازک پلیمری می‌باشد. مشکل این تکنیک در آن است که سیگنال متناسب با  $|z^{(3)}|^2$  می‌باشد و بنابراین جداسازی به قسمتهای حقیقی و موهومی به سادگی امکان پذیر نمی‌باشد. برای کمی سازی نتایج جاروب Z و ترکیب چهار موج تبهگن باید اندازه‌گیریهای خود را نسبت به یک ماده استاندارد مقایسه نماییم. در کار حاضر ماده استاندارد ما سیلیکای گداخته شده (fused silica) می‌باشد که دارای ضریب شکست غیرخطی  $cm^2/W \times 10^{-16}$  است.



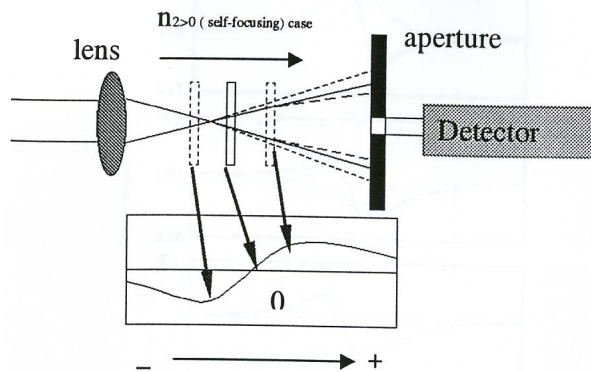
شکل ۲. نمودارهای نظری جاروب شکاف باز (خط چین) و شکاف بسته (خط پیوسته) در حالت‌های الف- ضریب شکست غیرخطی منفی و بدون جذب غیرخطی ب- ضریب شکست غیرخطی منفی و جذب القایی غیرخطی مثبت ج- ضریب شکست غیرخطی منفی و ضریب جذب غیرخطی منفی یا تراگسیلندگی القایی [۵].

سوم القاء شده است و همچنین فاکتور  $T$  یعنی

$$T = \frac{\epsilon \pi \Delta \Phi_{imag}}{\Delta \Phi_{real}}$$

در عمل دامنه سیگنال جاروب-z با شکاف باز تقریباً متناسب با قسمت حقیقی تغییر فاز غیر خطی  $\Delta \Phi_{real}$  می‌باشد. عدم تقارن این سیگنال عامل  $T$  را به ما می‌دهد (برای  $T=0$  شکل سیگنال مشابه  $S$  و متقارن است). همچنین عمق فرورفتگی در سیگنال روزنه باز به قسمت موهومی تغییر فاز غیر خطی  $\Delta \Phi_{imag}$  یعنی به  $(\frac{T \Delta \Phi_{real}}{\epsilon \pi})$  مربوط است.

همچنین می‌توان با تقسیم سیگنال شکاف بسته بر سیگنال شکاف باز اطلاعاتی راجع به قسمت حقیقی تغییر فاز غیرخطی به دست آورد. این روش به ما سیگنالی می‌دهد که از حضور قسمت موهومی تغییر فاز غیرخطی عاری می‌باشد (یعنی عاری از پدیده جذب دو فوتونی).



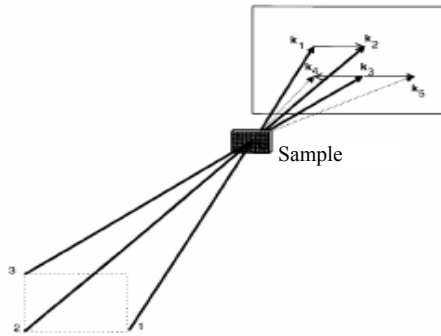
### Displacement from focus

شکل ۱. سه وضعیت نمونه در روش جاروب  $Z$  نشان داده شده است: قبل از کانون که در این حالت جمع شدن پرتو روی نمونه سبب کاهش تراگسیلندگی از شکاف می‌شود، در کانون و بعد از کانون که در این حالت جمع شدن پرتو افزایش تراگسیلندگی از شکاف را سبب می‌شود (محور عمودی تراگسیلندگی شکاف را نشان می‌دهد) [۵].

شکل ۲ نمودارهای نظری جاروب  $z$  شکاف باز و بسته را با اقتباس از مرجع [۵] نشان می‌دهد. از رویش نمونه، نموداری شبیه شکل ۲ به دست می‌آید که به وسیله روابطی که توسط شیخ بهایی و همکاران [۴] داده شده است قابل تجزیه و تحلیل است. با استفاده از این روابط خواص غیرخطی نمونه قابل محاسبه است. به وسیله بررسی سیگنال شکاف بسته می‌توان  $n_2$  را به دست آورد در حالی که بررسی سیگنال شکاف باز قسمت جذبی خاصیت غیرخطی نمونه  $\beta$  را برای ما تعیین می‌نماید.

در نمودارهای شکل ۲، حالت الف برای یک وضعیت غیرخطی کاملاً ضریب شکستی (refractive) و حالت ب یک وضعیت با ضریب شکست غیرخطی حقیقی منفی همراه با قسمت موهومی مثبت (جذب القایی) و حالت ج یک وضعیت با ضریب شکست غیرخطی حقیقی منفی همراه با قسمت موهومی منفی (عبور القایی) را نشان می‌دهد.

در عمل روش جاروب  $Z$  با شکاف بسته و باز می‌تواند همزمان انجام شود (شکل ۴). نتایج به دست آمده به وسیله برآزش عددی با استفاده از روابط به دست آمده توسط شیخ بهایی و همکاران قابل تجزیه و تحلیل می‌باشد. بر اساس این روابط تغییر فاز غیر خطی  $\Delta \Phi_{real}$  که در اثر پدیده غیرخطی مرتبه



شکل ۴. هندسه آزمایش ترکیب چهار موج تبهگن نشان داده شده است. پرتوهای ۱ تا ۳ به نمونه تابیده شده‌اند. سیگنالهای آشکار شده به ترتیب جور شده فاز که از برهمکنش  $\vec{k}_4 = \vec{k}_3 - \vec{k}_2 + \vec{k}_1$  ناشی می‌شود و سیگنال بدون جور شدگی فاز ناشی از برهمکنش  $\vec{k}_4 = \vec{k}_3 + \vec{k}_2 - \vec{k}_1$  می‌باشند.

براک در توری می‌باشد. این شرط را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\vec{k}_4 = \vec{k}_3 + \vec{b} \quad (4)$$

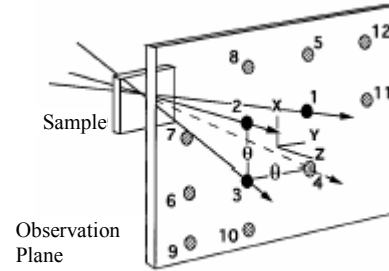
$\vec{k}_3$  بردار موج تابشی و  $\vec{k}_4$  بردار موج پراشیده شده و  $\vec{b}$  بردار توری می‌باشد. چون  $|\vec{k}_3| = |\vec{k}_4|$  می‌باشد. شرط براگ زاویه‌ای بین  $\vec{k}_3$  و  $\vec{k}_4$  ایجاد می‌نماید که در آن پراش با بازده بالا امکان پذیر است. شرط بالا را شرط جورشدگی فاز می‌نامیم. می‌توان شرط بالا را به صورت یک رابطه کلی درآورد. چون  $b$  (بردار توری) در نتیجه تداخل دو موج با بردار موجهای  $\vec{k}_1$  و  $\vec{k}_2$  می‌باشد در نتیجه:

$$\vec{b} = \vec{k}_1 - \vec{k}_2 \quad (5)$$

و شرط جور شدگی فاز به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sum \vec{k}_i = 0 \quad (6)$$

شکل ۳ نقاط پراش ناشی از تداخل پرتوهای مختلف را روی صفحه تصویر نشان می‌دهد. نتایج تجربی نشان داده شده در شکل ۳ شرط جورشدگی فاز را به ما نشان می‌دهد. همچنین نقطه نشان داده شده در شکل به عنوان جور نشده فاز (non-phase matched) نتیجه پراش غیر براگ از یک توری نسبتاً نازک می‌باشد. هر دو سیگنال بالا برای تعیین ضرایب توری غیرخطی پلیمرها مفید هستند. ولی سیگنال جور نشده فاز به‌خصوص در مورد جداسازی یک سیگنال بسیار ضعیف ناشی

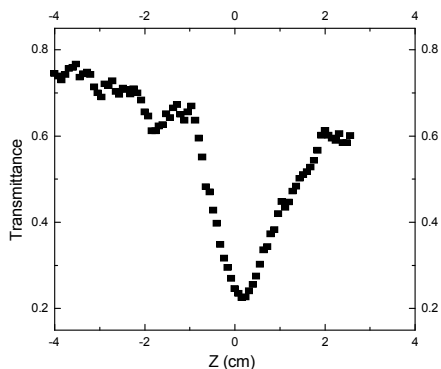


شکل ۳. آزمایش ترکیب چهار موج تبهگن در حالت روش جلویی (forward). پرتوهای ۱ و ۲ و ۳ تقریباً در جهت z منتشر می‌شوند.

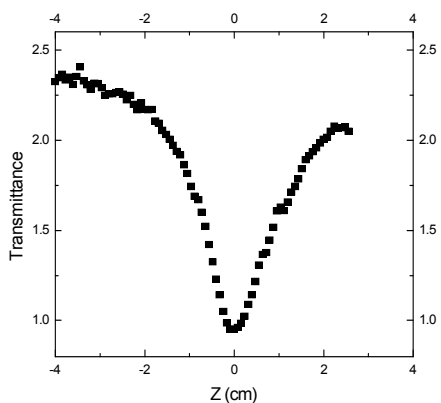
### ۲.۲ روش ترکیب چهار موج تبهگن (DFWM)

روش ترکیب چهار موج [۶] به فرآیندی غیرخطی اطلاق می‌شود که در آن سه موج نوری با هم برهمکنش می‌کنند تا موج نوری چهارمی را ایجاد نمایند. اگر فرکانس همه پرتوها یکسان باشند این فرآیند را ترکیب چهار موج تبهگن (DFWM) می‌نامیم. برای لایه‌های نازک با استفاده از پالسهای بسیار کوتاه لیزری می‌توان روش پراکنندگی جلویی که به نام روش BOX CARS نیز نامیده می‌شود به کار برد. شکل‌های ۳ و ۴ روش فوق را شرح می‌دهند [۵].

اصول کار آزمایش به شرح زیر است: وقتی که دو پرتو هم فرکانس در فضا با هم برخورد می‌نمایند یک نقش تداخلی ایجاد می‌شود که به تغییرات فضایی شدت نور می‌انجامد. اگر عمل ترکیب در محیطی غیرخطی روی دهد خواص نوری محیط مطابق تغییرات فضایی شدت نقش تداخلی تغییر می‌نماید. تغییرات ایجاد شده در ضریب شکست و یا ضریب جذب رفتاری شبیه یک توری حجیم دارد. توری رفتاری سه بعدی دارد. برای لایه‌های نازک می‌توان تغییرات ایجاد شده در عمق را نادیده انگاشت و می‌توان توری را به عنوان یک تغییرات پرئودیک سطحی در نظر گرفت. آرایه ایجاد شده شبیه یک توری پراش معمولی عمل می‌نماید و بنابراین می‌تواند هر پرتوی که به آن می‌تابد را پراشیده نماید. ولی برای نمونه‌های ضخیم‌تر توری را باید به عنوان یک المان پراشی حجیم در نظر گرفت. برای مشاهده پراش با بازده بالا از یک توری حجمی باید امواج پراشیده شده در عمقهای مختلف توری با هم به صورت سازنده جمع شوند. این موضوع معادل برقراری شرط



الف

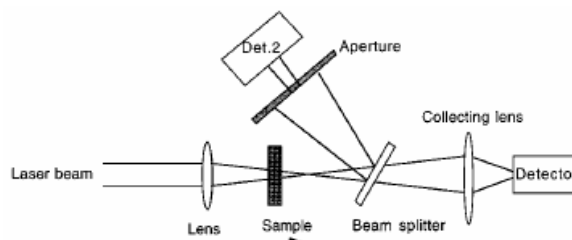


ب

شکل ۶. نمودار تراگسیلندگی بر حسب Z برای مقادیر تجربی به صورت خام، الف-حالت شکاف بسته ب- حالت شکاف باز. اندازه‌گیری‌ها بر روی ماده کپه‌ای انجام گرفته است.

### ۳.۲. روش چهار موج تبهگن (DFWM)

برای اندازه‌گیری ثابتهای نوری غیرخطی با این روش معمولاً دو سیگنال یکی سیگنال جور شده فاز که در اثر برهمکنش سه موج تابشی و دیگری سیگنال با عدم جور شدگی فاز ناشی از لایه چلکا جنید مورد استفاده قرار گرفتند. در اینجا باید متذکر شد که سیگنال با عدم جور شدگی فاز زمانی قابل مقایسه با سیگنال جور شده فاز می‌شود که فیلم چلکا جنید مورد نظر دارای خواص غیرخطی بزرگی نسبت به تکیه‌گاه (سیلیکای ذوب شده) باشد. شکل ۷ آرایش تجربی مورد استفاده در این آزمایش را نشان می‌دهد. نمونه‌های مورد آزمایش لایه‌های نازک به ضخامت ۲ میکرون بودند. لیزر مورد استفاده یک لیزر Ti-sapphire بود که پالسهای با زمان ۱۰۰ فمتو ثانیه را تأمین می‌نمود.



شکل ۵. آرایش تجربی اندازه‌گیری جاروب- z برای بررسی همزمان شکاف باز و بسته.

از یک لایه نازک در مقایسه با سیگنال ناشی از تکیه‌گاه شیشه‌ای ضخیم زیرین آن مفید است.

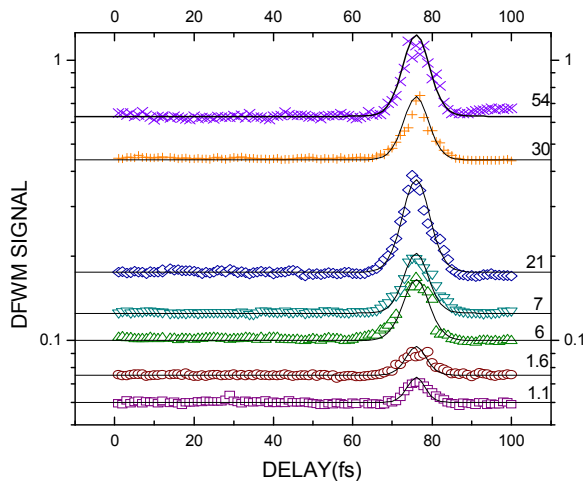
به طور کلی آزمایش ترکیب چهار موج تبهگن طوری انجام می‌شود که دو تا از پرتوها هم زمان به نمونه بتابند و پرتو سوم دارای یک تأخیر زمانی متغیر می‌باشد تا تغییرات ایجاد شده در نمونه را در حین پالس لیزری و بعد از آن بخواند.

### ۳. نتایج

#### ۳.۱. روش جاروب z

اندازه‌گیریهای جاروب- z برای  $As_4S_6$  بر روی قرصهای این ماده (نمونه کپه‌ای) انجام گردید. پالسهای با زمان ۱۰۰ فمتو ثانیه با انرژی حدود ۰/۱ تا ۰/۵ میکرو ژول از یک لیزر Ti-sapphire در این اندازه‌گیریها به کار گرفته شدند. شدت روی نمونه در محدوده ۱۰ تا ۱۵۰ گیگاوات بر سانتی متر مربع بود. آرایش آزمایشی به کار گرفته شده در شکل ۶ آورده شده است [۵] که به ما اجازه هم زمان اندازه‌گیری شکاف باز و بسته (Open aperture and closed aperture) را می‌دهد.

سیگنال به دست آمده از لایه‌های نازک  $As_4S_6$  به قدری ضعیف بودند که تجزیه و تحلیل آنها به سادگی امکان پذیر نبود. بدین منظور روش جاروب z را برای محاسبه ضرایب نوری غیر خطی  $As_4S_6$  بر روی نمونه‌های ضخیم به ضخامت ۴ میلیمتر انجام دادیم. در کل نمونه در امتداد محور z به اندازه ۸ سانتیمتر جابه‌جا گردید. نمودار تراگسیلندگی بر حسب Z مربوط به داده‌های خام تجربی برای حالت‌های شکاف بسته و باز در شکل ۶ نشان داده شده‌اند.



**شکل ۸.** سیگنالهای ترکیب چهار موج تبهگن بر حسب تاخیر زمانی پرتو کاوشگر در لایه چلکا جنید نشان داده شده اند. اعداد نشان داده شده در بالای هر نمودار نشان دهنده شدت پرتو ورودی بر حسب  $\text{GW}/\text{cm}^2$  می باشند.

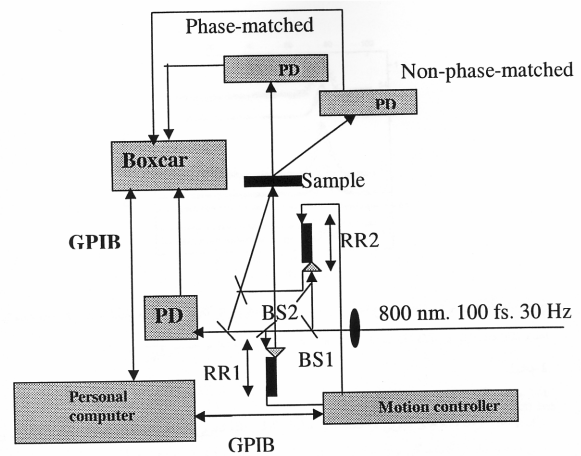
برای محاسبه جذب دو فوتونی از نمودار حالت شکاف باز باید استفاده نمود. اگر رابطه تراگسیلندگی را برای این حالت بنویسیم و فقط دو جمله اول بسط را در نظر بگیریم داریم:

$$T(z) = 1 - \frac{q_0(z,0)}{3} \quad (7)$$

در حالی که مقدار  $q_0(z,0)$  برابر است با:

$$q_0(z,0) = \frac{\beta I_0(z) L_{eff}}{(1 + \frac{z^2}{z_0^2})} \quad (8)$$

با مشخص بودن مقدار  $L_{eff}$  و  $I_0$  و  $z_0$  و یک مقدار تخمینی برای  $\beta$  (ضریب جذب دو فوتونی) می توان تراگسیلندگی بهنجار شده را بر حسب  $z$  رسم نمود. اگر منحنی داده های تجربی را نیز بر روی این نمودار رسم نماییم با تغییر مقدار تخمینی  $\beta$  می توان نمودار نظری را انقدر تغییر داد تا برازش خوبی بین نمودارهای نظری و تجربی به دست آید. بدین وسیله می توان ضریب جذب دو فوتونی  $\beta$  را محاسبه نمود. با در نظر گرفتن  $\alpha = 1 \text{ cm}^{-1}$  و  $L = 0.3 \text{ cm}$  مقدار  $L_{eff}$  برابر با  $0.3 \text{ cm}$  می شود. باید در نظر داشت که  $\alpha = 1 \text{ cm}^{-1}$  با استفاده از منحنی تراگسیل لایه های نازک به ضخامت ۲ میکرون و با استفاده از روش Swanepoel [۷] اندازه گیری شده است.



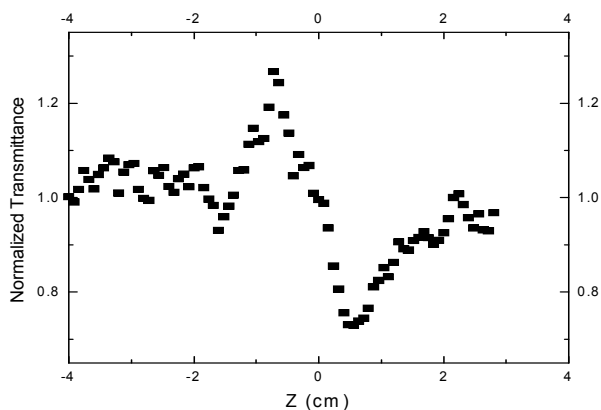
**شکل ۷.** آرایش تجربی اندازه گیری روش ترکیب چهار موج تبهگن (DFWM) که در آن آشکارسازی سیگنالهای جور شده فاز و بدون جور شدگی فاز نشان داده شده است. (PD نشان دهنده آشکار ساز، PR نشان دهنده منعکس کننده، BS نشان دهنده تقسیم کننده نوری، GPIB نشان دهنده قسمت جمع آوری داده ها می باشد).

شکل ۸ یک سیگنال نمونه DFWM را برای لایه  $\text{As}_2\text{S}_3$  نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود پاسخ غیرخطی دارای یک قسمت تأخیری است که احتمالاً ناشی از تحریکهای با عمر نسبتاً طولانی می باشد که در محدوده پیکو ثانیه و پاشی می نماید. شکل ۸ نشان می دهد که سیگنال DFWM بستگی به شدت نور تابشی دارد. با افزایش شدت ورودی دنباله (tail) سیگنال DFWM برجسته تر می شود ولی هم زمان مشاهده می شود که ثابت زمانی و پاشی ناحیه تأخیری سیگنال با افزایش توان ورودی کاهش می یابد.

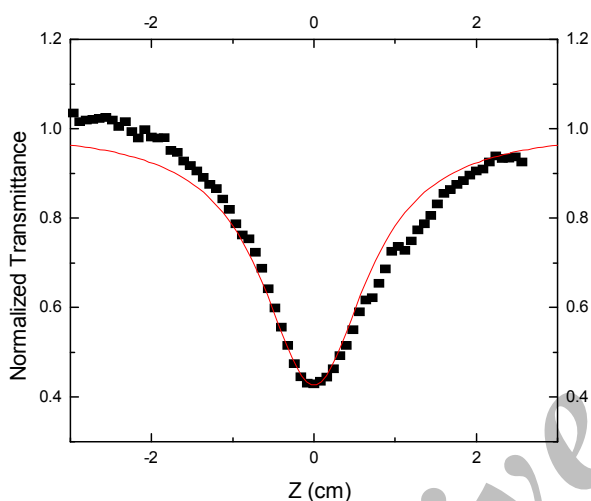
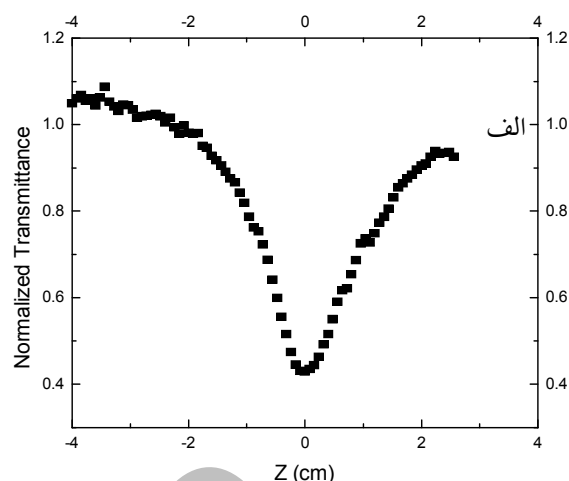
#### ۴. بحث

##### ۴.۱. جاروب Z

برای بهنجار کردن داده های تجربی تراگسیلندگی میانگین اولین داده تجربی با آخرین داده را معادل یک می گیریم و سپس مقادیر خام تراگسیلندگی برای حالت های شکاف باز و بسته را بر میانگینهای به دست آمده تقسیم می نماییم. بدین ترتیب می توان تراگسیلندگی را بهنجار ساخت. شکل ۹ تراگسیلندگی بهنجار شده را برای حالت های شکاف باز و بسته نشان می دهد. از تقسیم سیگنال بهنجار شده شکاف بسته به سیگنال شکاف باز بهنجار شده، نتیجه جدیدی به دست می آید که در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. تراگسیلندگی جدید بهنجار شده ماده چلکا جنید.

شکل ۱۱. نمودار برازش منحنی نظریه تراگسیلندگی با نتایج تجربی برای ماده  $AS_2S_3$ . مقدار ضریب جذب دو فوتونی  $\beta = 0.29 \frac{cm}{GW}$  محاسبه شده است.

$$z_c = \frac{\Delta Z_{P-V}}{1/\gamma}, \quad \Delta\Phi_c = \frac{\Delta T_{P-V}}{0.406(1-s)^{1/25}}$$

با مشخص بودن  $s$ ، مقادیر  $z_c$  و  $\Delta\Phi_c$  به دست می‌آیند. اگر نمودار نظری تراگسیلندگی و تجربی آن را هم زمان رسم نماییم می‌توان با تغییر  $z_c$  و  $\Delta\Phi_c$  برازش خوبی برای آنها ایجاد نمود. ضریب شکست غیرخطی با  $\Delta\Phi_c$  رابطه‌ای مستقیم به صورت زیر دارد:

$$\Delta\Phi_c(\cdot) = Kn_\gamma I_c(\cdot) L_{eff} \quad (10)$$

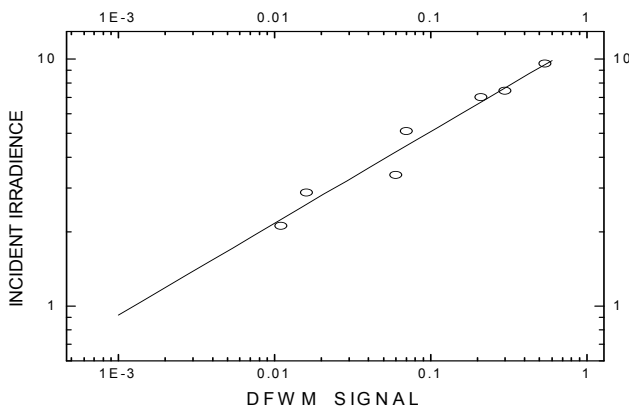
با مشخص بودن مقادیر  $\Delta\Phi_c$  و  $\lambda = 800nm$  و  $I_c(\cdot) = 20 \frac{GW}{cm^2}$  و  $L_{eff} = 0.3cm$  مقدار  $n_\gamma$  برابر

شکل ۹. نحوه بهنجار کردن داده‌های خام. الف- حالت شکاف بسته، ب- حالت شکاف باز.

باتوجه به روابط بالا و با داشتن  $I_c(\cdot) = 20 \frac{GW}{cm^2}$  و  $z_c = 0.75cm$  ضریب جذب دو فوتونی به دست می‌آید. شکل ۱۱ نمودار برازش منحنی نظری تراگسیلندگی با نتایج تجربی را برای شکاف باز نشان می‌دهد. از روی این نمودار ضریب جذب دو فوتونی ( $\beta$ ) محاسبه شده است.

برای محاسبه ضریب شکست غیر خطی  $n_\gamma$  باید برازش خوبی بین رابطه نظری تراگسیلندگی و مقادیر تجربی ایجاد نمود. با استفاده از شکل ۱۱ و روابط زیر می‌توان به این امر دست یافت:

$$T(z) = 1 - \frac{4x\Delta\Phi_c}{(x^2 + 9)(x^2 + 1)} \quad (9)$$

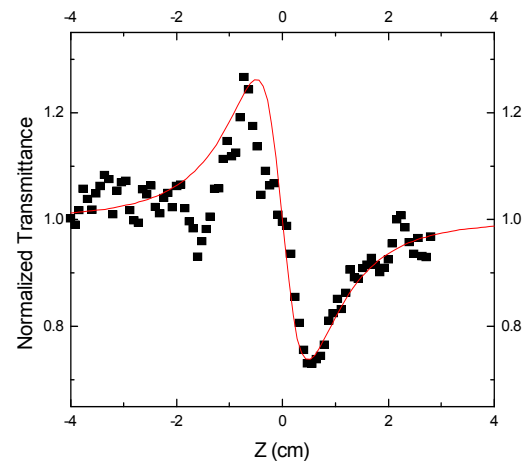


شکل ۱۳. سیگنال ترکیب چهار موج تبهگن بر حسب شدت پرتو ورودی در ماده چلکا جنید نشان داده شده است. برآزش داده‌ها وابستگی به شدت را به صورت  $I^{2/57 \pm 0.25}$  نشان می‌دهد. واحدها اختیاری هستند.

آزمایشی در شکل ۱۲ دیده می‌شود. همچنین از رابطه بالا مشخص است که شدت سیگنال به توان سوم شدت ورودی مرتبط می‌شود که این وابستگی در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

وابستگی به شدت موج ورودی برای سیگنال DFWM در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در شدتهای پایین ورودی دامنه سیگنال بستگی به توان سه شدت دارد. این رفتار که در شدتهای زیر  $50 \frac{GW}{cm^2}$  اتفاق می‌افتد نشان دهنده یک رفتار غیرخطی شبه کر (Kerr) می‌باشد. ولی در شدتهای بالا رفتار اشباع ظاهر می‌شود که می‌تواند ناشی از ظاهر شدن ترمهای مرتبه پنجم و بالا تر در پذیرفتاری چلکا جنید باشد. همچنین رفتار اشباع می‌تواند ناشی از عوامل دیگر از قبیل افتهای جذبی دو فوتونی افزایشنده در شدتهای بالا باشد. بنابراین برای محاسبه  $|n_2|$  داده‌های DFWM در شدتهای پایین اندازه‌گیری شدند تا فرض رفتار غیرخطی شبه کر (Kerr) برای فیلم چلکاجنید برقرار باشد.

معادلات حاکم بر روش DFWM نشان می‌دهند که برای تقریب قابل اغماض بودن تهی شدن شدت پمپها شدت سیگنال DFWM به وسیله رابطه زیر داده می‌شود:



شکل ۱۲. نمودار برآزش منحنی نظریه تراگسیلندگی حالت شکاف بسته با نتایج تجربی برای ماده چلکا جنید. مقدار ضریب شکست غیرخطی برابر با  $\frac{m^2}{W} = 3 \times 10^{-17}$  می‌باشد.

به دست می‌آید. شکل ۱۲ نمودار برآزش منحنی نظری تراگسیلندگی را برای حالت شکاف بسته با نتایج تجربی نشان می‌دهد.

#### ۲.۴. روش چهار موج تبهگن

هنگامی که در ماده جذب وجود نداشته باشد، پاسخ کند که در رابطه با جذب است نیز ایجاد نمی‌گردد و در این حالت سیگنال ترکیب چهار موج تبهگن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$I_{DFWM} = \left[ \frac{\omega}{2\epsilon \cdot n_2} \right] L^2 (\chi^{(3)})^2 (I_{Pump})^2$$

که در رابطه بالا  $L$  طول بر همکنش در ماده،  $\chi^{(3)} = \frac{4\epsilon \cdot cn_2^2 n_2}{9}$ ،  $n_2$  ضریب شکست ماده و  $n_2$  ضریب شکست غیرخطی ماده است.

چون در آزمایش ترکیب چهار موج تبهگن از لیزر با شکل

$$I(t) \propto E^2(t) \alpha \text{Sech}^2\left(\frac{t}{t_p}\right)$$

پالس  $\text{sech}^2$  استفاده شده است که  $t_p = 140 \text{ fs}$  بنابراین شدت سیگنال DFWM متناسب با توان ششم  $\text{Sech}$  است که برآزش بین رابطه نظری و داده‌های



محتمل است که می‌تواند امواج نوری تابیده به آن را پراشیده نماید.

### ۵. نتیجه‌گیری

روشهای جاروب-z و ترکیب چهار موج تبهگن روشهای بسیار مفیدی را برای محاسبه ضرایب نوری غیرخطی لایه‌های نازک سولفید آرسنیک و همچنین ماده کپه‌ای آن (Bulk) می‌باشند. این روشها به ما اجازه می‌دهند که ضریب شکست غیر خطی  $n_2$  و ضریب جذب دو فوتونی  $\beta$  را برای شیشه  $As_2S_3$  به دست آوریم. ضریب شکست غیرخطی بالا  $n_2 = 3 \times 10^{-17} m^2/W$  به دست آمده برای شیشه  $As_2S_3$  آن را کاندید مناسبی برای کاربردهای سویچینگ می‌نماید.

$$I_{DFWM} = Const. \frac{|\chi^{(3)}|^2}{n^4} L^2 I^3 = Const. |n_2|^2 L^2 I^3 \quad (11)$$

برای محاسبه  $|n_2|$  لایه  $As_2S_3$  رابطه بالا را به صورت نسبی برای دو لایه چلکاجنید و زیر لایه زیرینش (سیلیکای ذوب شده) به کار بردیم. مقدار  $n_2$  به دست آمده در این روش برابر با  $n_2 = 3/9 \times 10^{-17} m^2/W$  می‌باشد. در شدتهای بالا مشاهده می‌شود که قسمت تأخیر سیگنال DFWM به واپاشی کامل نمی‌رسد بلکه افزایش می‌یابد. این پدیده می‌تواند ناشی از به وجود آمدن توریهای اکستو اپتیکی در شدتهای بالا باشد. در شدتهای بالا امکان به وجود آمدن یک توری صوتی در ماده

### مراجع

1. A Zakery, *J Phys. D: Appl. Phys.* **35**(2002)2909.
2. A V Rode, A Zakery, M Samoc, R B Charters, E G Gamaly and B Luther-Davies, *Appl. Surf. Science* **197-198**(2002)481.
3. A Zakery, P J S Ewen, A E Owen, *J Non-Cryst. Solids* **198-200**(1996)769.
4. M Sheik-Bahae, A A Said, T Wei, D J Hagan and E W Van Stryland, *IEEE J. Quantum Elect.*
5. D L Wise, G E Wnek, D J Trantolo, T M Cooper and J D Gresser, *Editors, Photonic Polymer Systems*, Marcel Dekker, New York, 1998.
6. R L Sutherland, *Handbook of Nonlinear Optics*, Dekker, New York, 1996.
7. R Swanepoel, *J. Phys. E : Sci. Instrum.* **16**(1983)214.