



أجهزة مبدال ضوئية من فيلم بوليمر يحتوي على مركب diarylethenes الفوتوكروميك

Photooptical switching of polymer film waveguide containing photochromic diarylethenes

Norihisa Tanio and Masahiro Irie

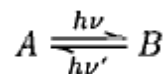
الخلاصة

وصف لتصنيع أجهزة مبدال (switching device) فوتو ضوئية تعتمد على التغير في معامل الانكسار المستحث ضوئيا لأفلام بوليمر مطعمة بمركبات فوتوكروميك. استخدم BFCP و CMTE كمركبات فوتوكروميك. التحول في المركبات من حلقة مفتوحة إلى حلقة مغلقة حدث بتأثير شعاع ليزر He-Cd (325 nm) والتفاعل العكسي باستخدام ليزر أيون الأرجون (488 nm). أظهرت أفلام بوليمر تحتوي على BFCP و CMTE تغيرات في معامل الانكسار Δn ، $5 \times 10^{-4}/wt\%$. تم توضيح فكرة عمل مبدال ضوئي من منشور باستخدام التشعيع بليزر ايون الأرجون وليزر He-Cd وكذلك التشعيع بليزر YAG النبضي.



1. مقدمة

كثير من الاهتمام توجه نحو تطوير أجهزة ضوئية قادرة على معالجة الإشارة مثل المبدال switching وأجهزة الانحراف deflection، وأجهزة التعديل modulation. كل الأجهزة المتوفرة حاليا تعتمد على التأثيرات الكهربائية أو الصوتية أو الضوئية المغناطيسية. الجهاز الذي يتحكم في الضوء مباشرة باستخدام التأثير فوتوضوئي [1,2] (على سبيل المثال تغير معامل الانكسار بتأثير ضوئي) يعتبر مهما [3]، لأنها يعمل بدون حركة ميكانيكية وبدون أي تشويش كهربائي. في هذه الدراسة نقدم وصفا لتصنيع أجهزة مبدال فوتوضوئية تعتمد على تغير معامل الانكسار المستحث ضوئيا لفيلم بوليمر يحتوي على مركبات فوتوكروماتيك (مواد ملونة ضوئية).



حديثا تم اكتشاف مواد فوتوكروماتيك ضوئية جديدة هي diarylethenes، والتي تخضع لعملية حرارية غير عكوسة ومقاومة لتفاعلات الفوتوكروماتيك [4,5]. كلا من الايزوميرات وجدت بانها مستقرة لأكثر من 3 اشهر عند درجة حرارة 80°C، ودورة تغير لوني واسترجاع لوني للمركبات يمكن ان تتكرر لأكثر من 104 مرة. في هذه الدراسة مثل هذا النوع مركبات diarylethenes الفوتوكروماتيك نشرت على فيلم البوليمر واستخدمت لأجهزة مبدال فوتوضوئية.

2. الجزء العملي

1.2 المواد وتحضير العينات

استخدمت مواد فوتوكروميك 1,2-bis(2-methylbenzo[b] thiophen-2-yl) perfluoro-cyclopentene (BFCP) و 1,2-dicyano-1,2-bis(2,4,5-trimethyl-3-thienyl)ethene (CMTE). التحول في المركبات من شكل حلقة مفتوحة الى حلقة مغلقة تم تحت تأثير استحثاث التشعيع الضوئي بواسطة ضوء ليزر He-Cd (325 nm) والتفاعل العكسي مع ضوء ليزر ايون الارجون (488 nm).



(nm) كما هو موضح في الشكل 1. المركبات نشرت كامورفس polyolefin (Zeonex 280) واستخدمت كموجة موجة (waveguide).

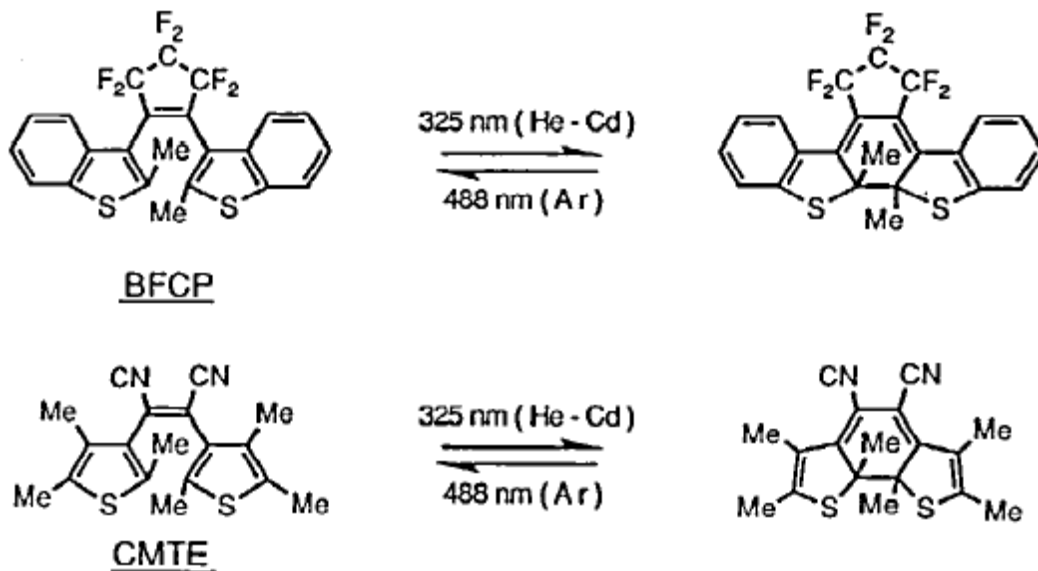
تم تحضير فيلم الـ polyolefin موجه الموجة بالطلاء الدوار (spin coating) لمحلول toluene يحتوي على polyolefin ومركبات الفوتوكروميك (20 wt%) على أرضية من البيركس (معامل الانكسار لها $n_s=1.47$). تم الحفاظ على فيلم البوليمر عند درجة حرارة 70°C لمدة 24 ساعة في الفراغ للتخلص من المحلول المذيب. سمك الفيلم كان حوالي $4\mu\text{m}$.

2.2 طريقة اقتران المنشور لقياس معامل الانكسار

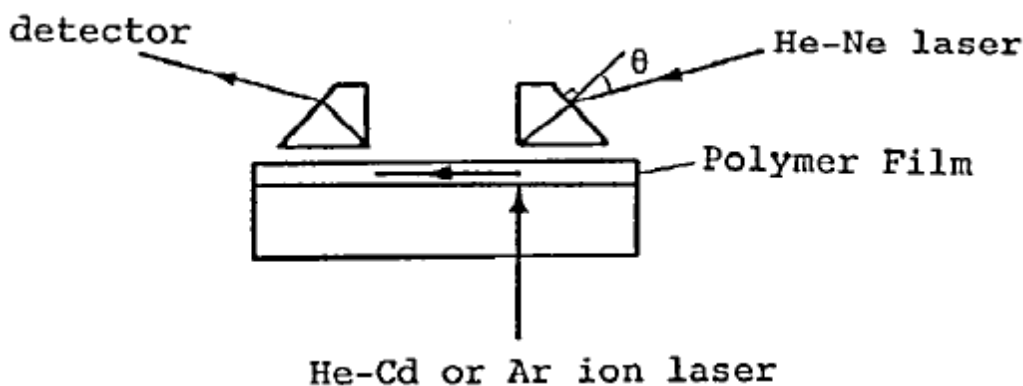
تحديد معامل الانكسار لموجه الموجة تم باستخدام طريقة اقتران المنشور prism-coupling. هذه الطريقة مناسبة ودقيقة وموضحة بالتفصيل في النشرات العلمية [6,7]. التجهيزات العملية لطريقة اقتران المنشور موضحة في الشكل 2. هنا يوجد منشورين مترابطين مدخل ومخرج. يتم تركيز شعاع ضوء ليزر الهيليوم نيون المستقطب TE على حافة اقتران المنشور (معامل الانكسار $n_p=1.78$)، والموضوع بتلاصق مع الفيلم. ينتقل شعاع ليزر الهيليوم نيون إلى موجه الموجة بواسطة المنشور عند زوايا مناسبة. تم حساب معامل الانكسار الفعال (n_{eff}) (effective mode index) لكل نمط من الزوايا التي اقترن فيها الضوء مع الموجات باستخدام العلاقة [8].

$$n_{\text{eff}} = n_p \sin \left[\alpha + \sin^{-1} \frac{(\sin \theta)}{n_p} \right], \quad (1)$$

حيث n_p و α هي معامل انكسار المنشور والزاوية على التوالي و θ هي زاوية الاقتران من العمودي على المنشور. تم حساب نمط الانتشار فيلم البوليمر موجه الموجة من زوايا الاقتران ومعاملات الانكسار [6].



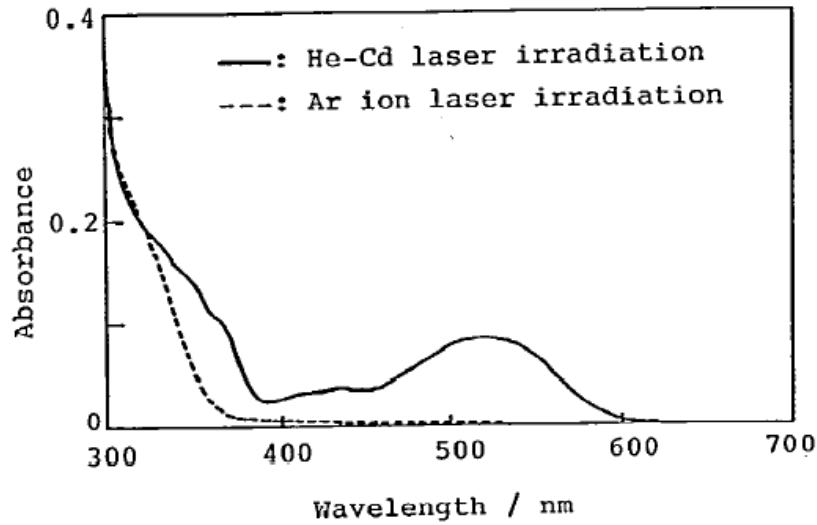
الشكل 1. مركبات الفوتوكروميك



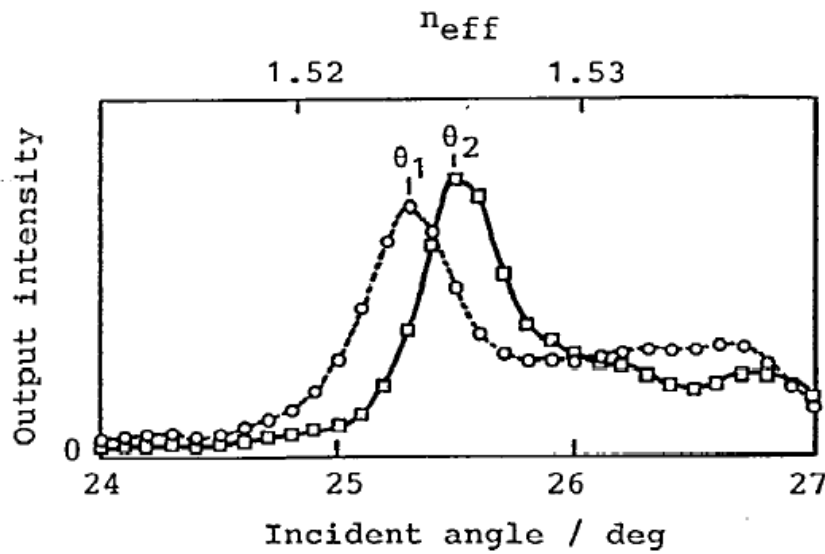
الشكل 2. شرح طريقة اقتران المنشور

3. النتائج والمناقشة

تغير طيف الامتصاص لفيلم موجة الموجة ال- polyolefin المحتوي على BFCP (20 wt%) موضح في الشكل 3. تشعيع الفيلم بضوء ليزر He-Cd أدى إلى تكون فيلم احمل بحيث لوحظ امتصاص مرئي عند طول موجي 520nm. عند التعريض لتشعيع بضوء ليزر أيون الأرجون اختلف اللون الأحمر.



الشكل 3. تغير طيف الامتصاص لفيلم polyolefin مطعم بـ BFCP



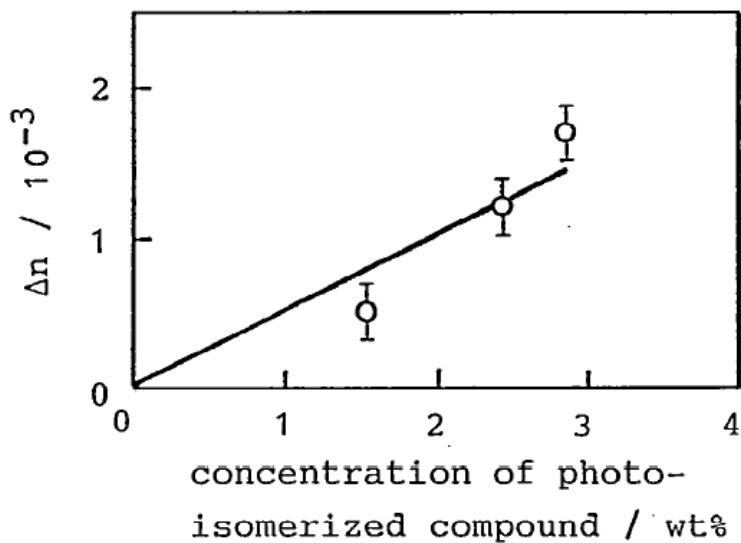
الشكل 4. خصائص الاقتران لموجه موجة من polyolefin مطعم بـ BFCP. الحلقات المفتوحة: تعرض

للتشعيع بضوء ليزر أيون الأرجون. المربعات المفتوحة: تعرض للتشعيع بضوء ليزر He-Cd

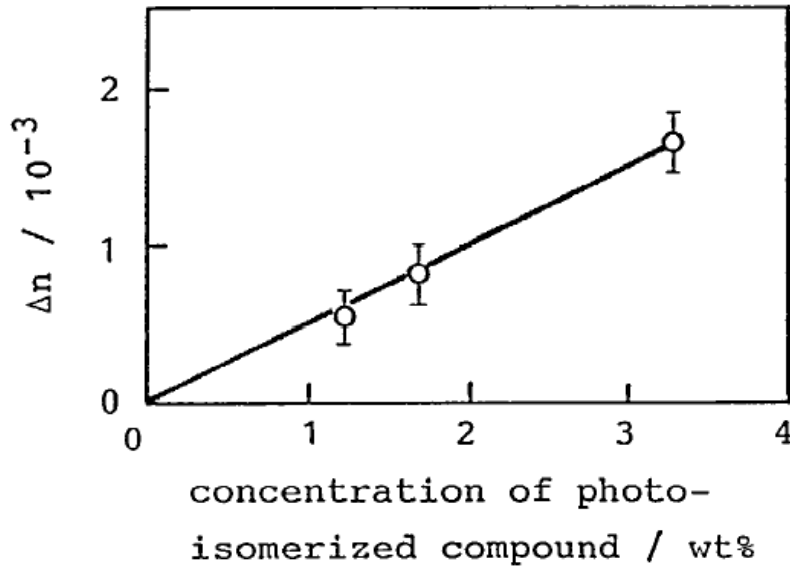
يوضح الشكل 4. خصائص الاقتران لنمط TE_0 ، أي شدة الضوء الناتج كدالة في زاوية السقوط، لموجه الموجة بواسطة التشعيع بضوء ليزر أيون الأرجون و ليزر He-Cd. أزيحت خصائص الاقتران لزوايا

أكبر، ومعامل الانكسار ازداد عندما تعرض الفيلم لتشعيع من ليزر He-Cd (في حالة الشكل 4، تغير معامل الانكسار المستحث بالتشعيع الضوئي كان حوالي 1.5×10^{-3}). عند التعرض لتشعيع بضوء ليزر ايون الأرجون استرجعت زاوية الاقتران حالتها الابتدائية. انزياح الزاوية يرتبط بشكل جيد مع عملية BFCP - isomerization.

يوضح الشكل 5 العلاقة بين weight fraction لمركبات جرت عليها عملية photoisomerization في الفيلم والتغير في معامل الانكسار (Δn). يتعرض BFCP (10 wt%) لعملية photoisomerization في مصفوفة البولييمر تحت ظروف معينة. في هذه الحالة تصل التغيرات في معامل الانكسار تحت تأثير التشعيع الضوئي إلى 5×10^{-3} . يوضح الشكل 6 نتائج فيلم موجه الموجة المحتوي على CMTE. لوحظت تغيرات كبيرة في معامل الانكسار تحت تأثير التشعيع الضوئي لفيلم CMTE مثلها مثل التغير لفيلم BFCP. يمكن تقدير معامل الانكسار (n_d) للمركبات من الانكسار الجزيئي ($[R]$) ومن الحجم الجزيئي (V).



الشكل 5. تغير معامل الانكسار تحت التأثير الضوئي (Δn) لـ BFCP.

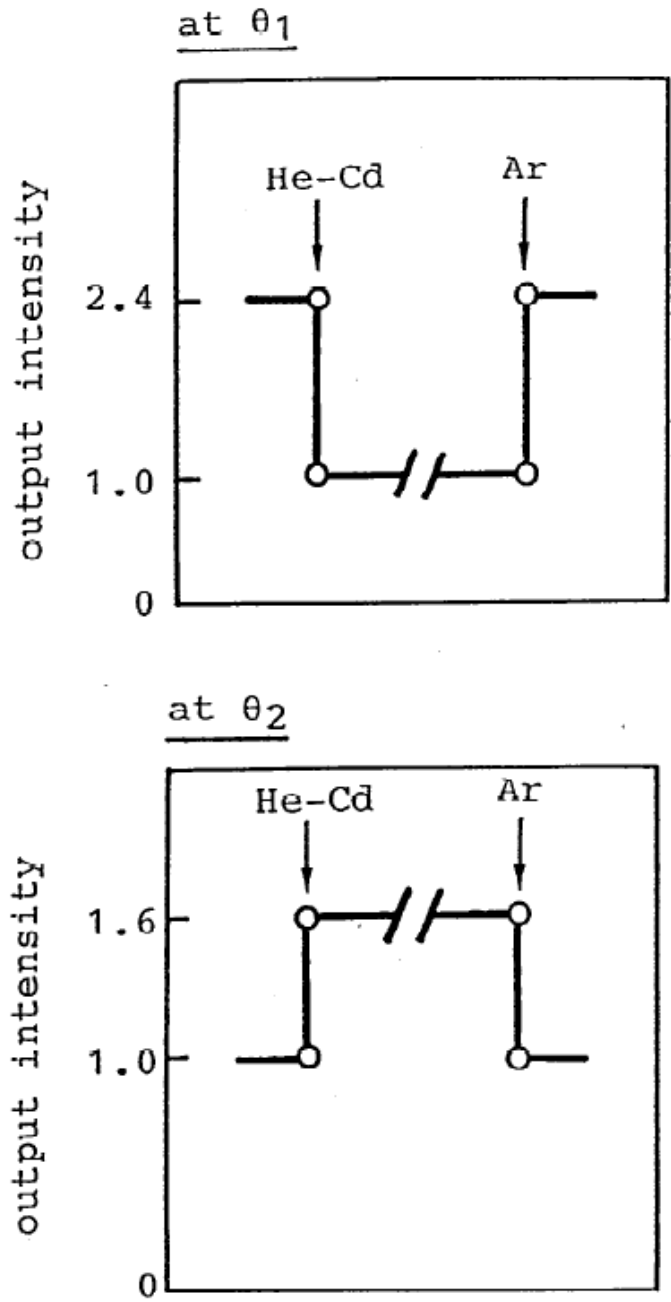


الشكل 6. تغير معامل الانكسار تحت التأثير الضوئي (Δn) لـ CMTE.

$$n_d = \sqrt{(2\phi + 1)/(1 - \phi)}$$
$$\phi \equiv [R]/V \quad (2)$$

باستخدام المعادلة (2)، التغيرات في معامل الانكسار المستحثة ضوئياً لـ BFCP و CMTE مع 10 wt% photoisomerization تم حسابها ووجدت انها تساوي 5×10^{-4} . القيمة التي لوحظت عملياً كانت اكبر بـ 10 مرات من القيمة المحسوبة. الاختلاف يعود لتأثير الانتشار.

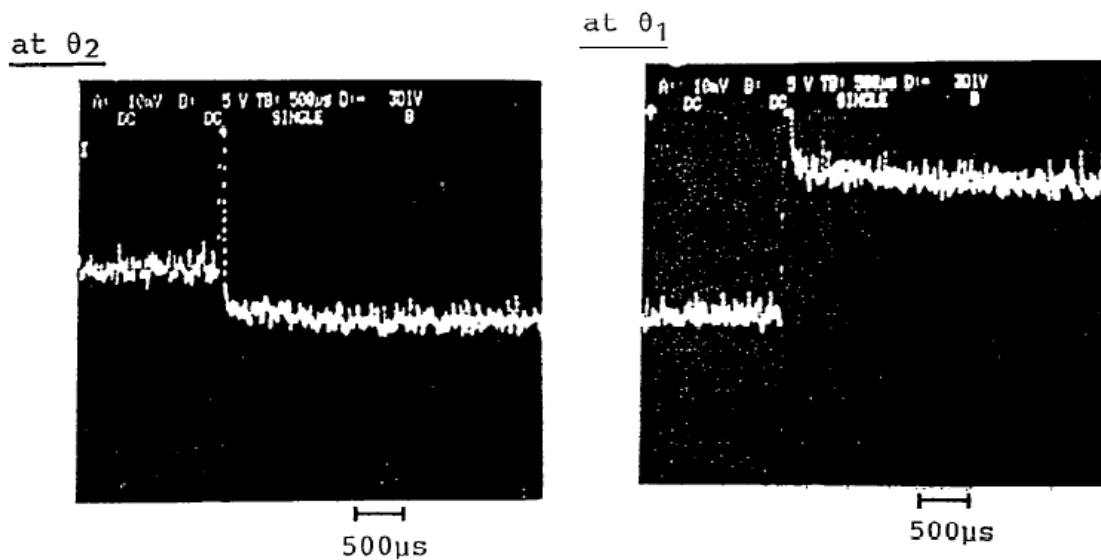
يتغير معامل الانكسار كدالة في الطول الموجي. في منطقة الطول الموجي البعيدة عن حزم الامتصاص، يزداد معامل الانكسار مع تناقص الطول الموجي. وعلى الجانب الآخر بجوار حزم الامتصاص يصبح معامل الانكسار كبيراً [9].



الشكل 7. تغيير شدة المخرج لفيلم polyolefin موجه الموجة المطعم بـ BFCP

تغير معامل الانكسار المحسوب، 5×10^{-4} ، هي القيمة عند منطقة الطول الموجي البعيدة عن حزم الامتصاص. هذا يشرح التغير الكبير في معامل الانكسار الملاحظ عند 633nm بالمقارنة مع القيمة المحسوبة.

أزاحت خصائص الاقتران إلى زوايا أكبر بالتشعيع بليزر He-Cd (325 nm)، كما هو موضح في الشكل 4. ولهذا اذا وضعنا زاوية السقوط عند θ_1 أو θ_2 للشكل 4، فان الشدة الناتجة سوف تتغير بالتشعيع بضوء ليزر أيون الأرجون (488 nm) أو He-Cd (325 nm). تم دراسة خصائص المبدال للشدة الناتجة تحت إشعاع متناوب من 488nm و 325nm. يوضح الشكل 7 النتيجة. عند θ_1 (وهي زاوية الاقتران تحت التشعيع بضوء ليزر أيون الأرجون في الشكل 4)، تتناقص الشدة الناتجة تحت التشعيع بضوء 325nm، وتسترجع الشدة بالتشعيع بضوء 488nm.



الشكل 8. تغير شدة المخرج لفيلم polyolefin موجه الموجة المطعم بـ BFCP بالتشعيع بضوء الليزر النبضي.

على الجانب الآخر عند الزاوية θ_2 (والتي هي زاوية الاقتران تحت التشعيع بضوء ليزر He-Cd في الشكل 4)، والشدة الناتجة تزداد عند التشعيع بضوء 325nm وتسترجع عند التشعيع بضوء 488nm.



تم دراسة معدل عملية photoisomerization لـ 2,3-di(2,4,5-trimethyl-3-thienyl) maleic anhydride بواسطة طريقة التحلل الضوئي بالليزر وقد وجد ان كلا من تفاعلات الحلقة المفتوحة والحلقة المغلقة تبدأ في اقل من 100 ps [10]. الاستجابة السريعة هذه تقترح ان معدل المبدال يصل لأكثر من 1GHz. لكي نتحقق من معدل الاستجابة السريعة، تم دراسة خواص المبدال تحت تشعيع بضوء ليزر نبضي (اتساع النبضة 8ns، والطول الموجي 532nm، والطاقة 15mJ) كما هو موضح في الشكل 8. عند الزاوية θ_1 تزداد الشدة الناتجة، في حين عند الزاوية θ_2 تتناقص الشدة الناتجة. زمن الاستجابة كان اقل من 100 μ s. في الوقت الحالي، لا يمكننا ان نتخلص من تشويش الشرارة الابتدائية الناتجة عن تشتت الضوء. من المتوقع ان يقل زمن الاستجابة إلى اقل من 1ns عندما يتم التخلص من التشويش. المعدل الملحوظ اقل من 100 μ s لا يزال اسرع بكثير من المعدل الملحوظ لأفلام chalcogenide [2].

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

2011-12-23

www.trgma.com