



تغير كبير في معامل الانكسار لأفلام البوليمر بالاستحثاث الضوئي والتي  
تحتوي على مجموعات Norbornadiene وتطبيقاتها في تشكيل  
معامل الانكسار على مساحات دقيقة

**Large Photoinduced Refractive Index Change of Polymer Films  
Containing and Bearing Norbornadiene Groups and Its  
Application to Submicron-Scale Refractive-Index Patterning**

Yuichi KATO, Hirokazu MUTA, Satoshi TAKAHASHI, Kazuyuki HORIE, and  
Takabumi NAGAI

**الخلاصة**

قمنا بقياس التغيرات في معامل الانكسار المستحثه ضوئياً لأفلام البوليمر المحتوية على مركبات norbornadiene. أفلام (PMMA) Poly(methyl methacrylate) المحتوية على 51.6 wt% من 5,6-(2-benzofuryl)-2,3-di-(trifluoromethyl)-1,4,7,7-tetramethyl-2,5-norbornadiene (NBD4) أظهرت تغيرات في معامل الانكسار بمقدار 0.037 خلال الأزوميرية الضوئية (photoisomerization). فيلم البوليمر المحتوي على thiophenyl- benzofuryl المستبدل بمجموعة norbornadiene (PolyTBFNBD) اظهر تغير في معامل الانكسار بـ 0.05-0.06 لـ 594 – 632.8 nm خلال عملية الأزوميرية الضوئية. هذه القيم اكبر قيم تغير في معامل الانكسار في منطقة خارج الرنين مستحثة بالتفاعلات الكيميائية الضوئية. تشكيل دقيق للتباين في معامل الانكسار على فيلم PolyTBFNBD موضح أيضا بواسطة الميكروسكوب الضوئي الماسح في المدى القريب (near-field scanning optical microscopy (NSOM)).



حديثاً، استقبلت البوليمرات العضوية اهتماماً كبيراً كمواد لها استخدامات عديدة في الأجهزة الضوئية مثل تسجيل الصور الهولوجرافية، والذاكرة الضوئية وموجهات الموجات الضوئية والعناصر الضوئية لما تمتلكه تلك المواد من مزايا عديدة مثل إمكانية التصنيع والإنتاج بتصاميم جزيئية كبيرة وسهولة إدخالها داخل مجموعات وظيفية.

أجريت العديد من البحوث عن التغيرات في معامل الانكسار بالاستحداث الضوئي لأفلام البوليمر المطعمة بالعديد من مواد ملونة (chromophores) [1-12]. يمكن تصنيف التفاعلات الكيميائية الضوئية لنوعين من التفاعلات وهي تفاعلات عكوسة (reversible) وتفاعلات غير عكوسة (irreversible). الأصباغ الملونة معروفة بأنها تستحث عملية ايزوميرية عكوسة [2-8] وقد درست في تطبيقات على المبدلات الضوئية وأجهزة التسجيل. بالمقابل لتفاعلات الفوتوكروميك (تفاعل ضوئي يصاحبه تغير في اللون) العكوسة، الايزوميرية الضوئية، والقفل الضوئي (photolocking) تلك المستخدمة لموجهات الموجة الضوئية وغيرها من التفاعلات الكيميائية الضوئية اللاعكوسة [9-12] يمكن تطبيقها على الهولوجرافي، والعدسات الدقيقة، والتوصيلات البصرية المتكاملة، وطباعة موجهات الموجة [13-16]. وعليه فإنه لكل هذه التطبيقات، يجب ان نحصل على تغيرات كبيرة في معامل الانكسار مستحثة بالتفاعلات الكيميائية الضوئية في أفلام البوليمر، وكذلك يفضل ان تمتلك شفافية في مدى واسع من الطيف المرئي.

المركب العضوي (NBD) Norbornadiene هو مركب مشهور كصبغة لونية (photochromic dye)، وفي الأعوام الأخيرة عملية الايزوميرية الضوئية لـ NBD إلى quadricyclane (QC) [17,18] قد جذبت الانتباه لاستخدامها كمواد مخزنة للطاقة الشمسية. أظهرت NBD تغير في التوزيع الإلكتروني خلال العملية الايزوميرية الضوئية فقط تغير طفيف في الحجم الجزيئي مع قدرة على التمرکز بتركيز كبير في الفيلم، وشفافية عالية في مدى واسع من الأطوال الموجية بالأخص في المدى المرئي، وإنتاج كمي (quantum yield) عالي لعملية الايزوميرية الضوئية [8]. قمنا بربط أصناف NBD بسلاسل البوليمر بسبب سهولة تحضير الفيلم بتركيز NBD عالي وانتظام عالي. أفادت بحوثنا السابقة ان تغير معامل الانكسار لـ NBD خلال عملية الايزوميرية الضوئية حوالي 0.01 في أفلام P(MMA0.43-co-GMA0.57-PNCA) [8]، حيث PNCA تشير إلي phenyl- استبدل norbornadiene carboxylic acid مرتبط مع glycidyl methacrylate (GMA). حديثاً Nagai et al [19] أفاد بسلسلة من trifluoromethyl استبدلت norbornadienes مع بدائل عطرية (aromatic) كبيرة

تكون بنية نانوية على اسطح أنواع عديدة من المواد هي تقنية أساسية تعرف باسم النانوتكنولوجي (nanotechnology) والتي درست حديثا بشكل مكثف. تكون تشكيلات نمطية بالاعتماد على معامل الانكسار شيء مهم جدا بالنسبة للدوائر المتكاملة الإلكترونية الضوئية (optoelectronic). تعتبر تقنية الميكروسكوب الضوئي الماسح في المجال القريب (Near-field scanning optical microscopy) ((NSOM) واحد من التقنيات ذات القدرة التحليلية العالية التي لها القدرة على الالتفاف على قيود القدرة التحليلية نتيجة لحيود الضوء [20]. في ورقتنا العلمية السابقة [21]، تشكيل نمطي لمعامل انكسار نقي، أي تشكيل نمطي لمعامل الانكسار بدون تغيير في شكل السطح وشفافية العينة، والتي لوحظت أولا مع NSOM على فيلم شفاف من PMMA مطعم بنسبة 35 wt% من PNCA والتي تعطي تغيير في معامل الانكسار بمقدار 0.006. استخدام الأفلام يبين تغيير كبير في معامل الانكسار يحدث بتأثير التفاعل الكيميائي الضوئي والتي اعتبرت طريقة مفضلة للحصول على تشكيل نمطي افضل.

في دراستنا الحالية، قمنا بتحضير بوليمر من thiophenyl و benzofuryl مستبدل NBD (Poly-) (TBFNBD) ومشتقات NBD متنوعة مع مستبدلات من anisyl أو benzofuryl، وقياس التغيرات في معامل الانكسار المستحثة ضوئيا في أفلام البوليمر المحتوية على مركبات norbornadiene. تشكيل على مقياس دقيق لتباين معامل الانكسار النقي على فيلم PolyTBFNBD لوحظ باستخدام NSOM.

## التجربة العملية Experimental

### المواد Materials

استخدمنا مركبات norbornadiene، 1,4,6,7,7-pentamethyl-2,5-، 5-anisyl-، norbornadiene-2,3-dicarboxylic acid dimethyl est (NBD1)، و-2,3-anisyl-، norbornadiene dicyano- 1,4,6,7,7-pentamethyl-2,5- (NBD2)، و-2,3-anisyl-، norbornadiene di(trifluoro methyl)-1,4,7,7-tetramethyl- 2,5- (NBD3)، و-2,3-anisyl-، norbornadiene 2,3-di(trifluoromethyl)-1,4,7,7-tetramethyl-2,5- (NBD4)، وبوليمر مستبدل بـ thiophenyl و benzofuryl لمجموعات norbornadiene (Poly-) (TBFNBD). التركيبات الكيميائية موضحة في الشكل 1. تم توليف المركبات 4-NBD1 كما هو موضح في الورقة العلمية [19] وتم تحضير Poly-TBFNBD من خلال البلمرة الكاتيونية (cationic polymerization) لـ 2-chloroethylvinyl ether مع BF<sub>3</sub>OEt<sub>2</sub> تبعت بتفاعلات كمية لـ 2-5-

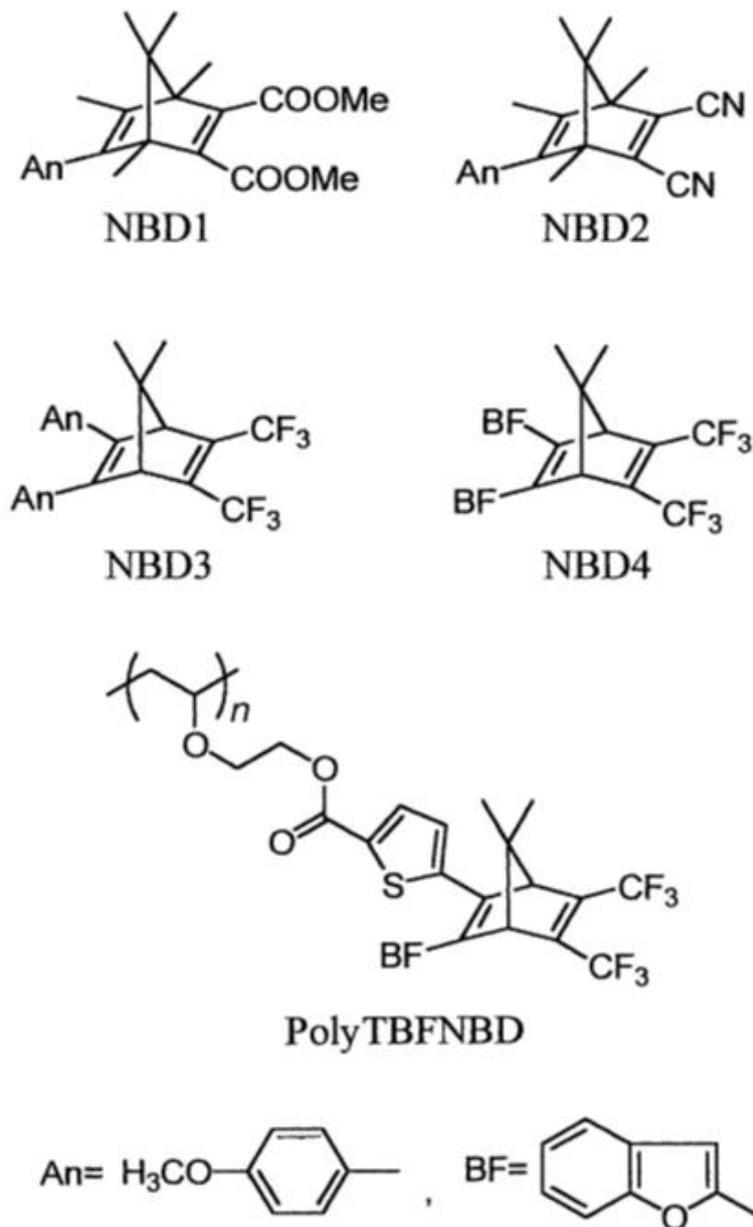


benzofuryl)-2,3- trifluoromethyl-7,7-dimethyl-6-(4\_-carboxy-2\_-thiophen)- yl-  
2,5-norbornadiene مع مجموعات chloroethyl في البوليمر. البوليمر بـ  $M_n = 5.3 \times 10^4$  و  
 $M_w/M_n = 1.9$  تحتوي على أصناف NBD في السلاسل الجانبية.

## قياسات طيف الامتصاص ومعامل الانكسار

### Absorption Spectrum and Refractive Index Measurements

تم إجراء التفاعل الضوئي باستخدام مصباح زئبق ذو ضغط عالي بقدرة 450 W او باستخدام مصباح  
زينون بفلتر مناسب ( NBD1:UV27, NBD2:UV29, NBD3:UV39, NBD4:L42, Poly )  
(TBFNBD:Y44). تم قياس طيف الامتصاص لـ NBD1-4 قبل وبعد التشعيع الضوئي



**الشكل 1.** التركيب الكيميائي لمشتقات norbornadiene و PolyTBFNBD

في أفلام PMMA (poly(methyl methacrylate)). تم تحضير فيلم PolyTBFNBD باستخدام تقنية الطلاء الدوار (spin coated) لقياسات طيف الامتصاص من محلول 5 wt% في الكلوروفورم على أرضية من السليكا (سمكها حوالي 0.6  $\mu\text{m}$ ). تم قياس معاملات الانكسار لأفلام البوليمر بطريقة m-line [5]. استخدم لقياس معامل الانكسار شعاع هيليوم نيون ليزر (LSTP-1010, Research Electro-Optics). لقياسات معامل الانكسار استخدمت أفلام بسمك 4  $\mu\text{m}$  تقريبا تم تحضيرها بتقنية

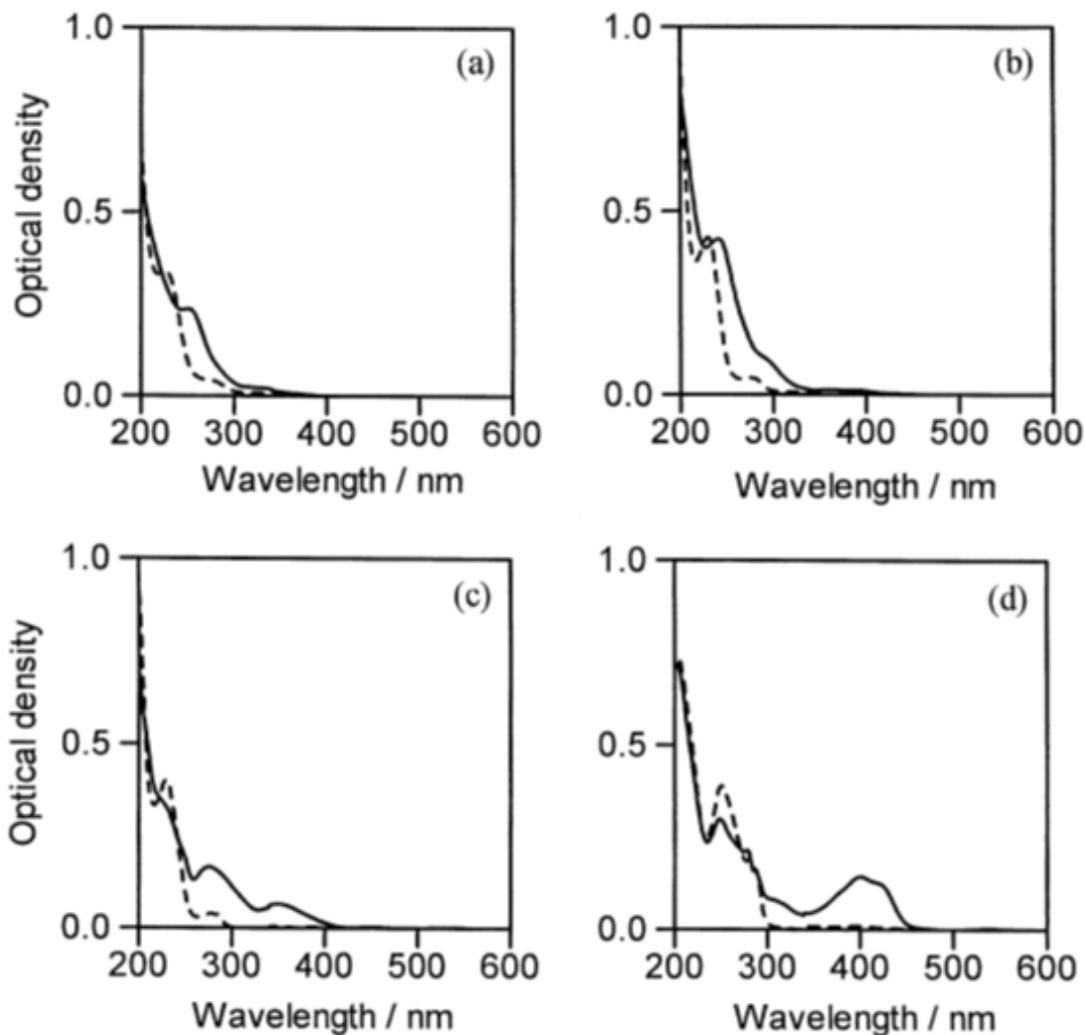


barcoater على أرضية من السليكا المنصهرة من محلول بتركيز 110 wt% تقريبا من PAMM في الكلوروفورم المحتوي على NBD1-4 بأوزان PMMA مختلفة. أفلام Poly-TBFNBD لقياسات معامل الانكسار تم تحضيرها من محاليل 10 wt% من بوليمر في كلوروفورم باستخدام barcoater على أرضيات سليكا منصهرة (سمكها حوالي 2  $\mu\text{m}$ ). قمنا بقياس معاملات الانكسار لأفلام البوليمر قبل وبعد التشعيع في كلا من النمط TE (في المستوى) والنمط TM (خارج المستوى) (NBD1-4 عند طول موجي 632.8 nm، و PolyTBFNBD عند أطوال موجية 632.8 و 612، و 604 و 594 nm).

## تشكيل نمطي لمعامل الانكسار باستخدام NSOM

### Refractive-Index Patterning by NSOM

تم بناء أدوات NOSM في مختبرنا بالاعتماد على نمط الإضاءة بطرف قوة الإمالة/ضبط مسافة العينة. تفاصيل أدوات NSOM متوفرة في مكان آخر [22]. فيلم رقيق لقياسات NSOM تم تحضيره بسمك 50 nm بتقنية الطلاء الدوار من محلول كلوروفورم من PolyTBFNBD (0.7 wt%) على شريحة زجاجية. للتشكيل النمطي بالتفاعل الكيميائي الضوئي تم تشعيع العينة بمجس NSOM (فتحة قطرها 200nm).



**الشكل 2.** طيف الامتصاص لمشتقات norbornadiene في فيلم PMMA قبل (الخط المتصل) وبعد دقيقة من التشعيع الضوئي (الخط المقطع): (a) PMMA NBD1 (5 wt%)، (b) NBD2 (5 wt%)، (c) PMMA NBD3 (5 wt%)، (d) PMMA NBD4 (5 wt%)

مع ضوء طوله الموجي 442 nm من ليزر He-Cd يعمل مسح خطي بطول  $2.9 \mu\text{m}$  على العينة. لجلب الصور تم دمج مجس NSOM مع ضوء طوله الموجي 633 nm من ليزر He-Ne، ومن ثم تم مراقبة شدة الضوء النافذ باستخدام أنبوبة تكبير ضوئي (photomultiplier tube) ومكبر إشارة وتوجيهها للمنطقة المطلوبة على سطح العينة للحصول على صورة NSOM.

## النتائج والمناقشة Results and Discussion

### تغيرات في معامل الانكسار لأفلام PMMA مستحثة ضوئية

#### أفلام بمشتقات Norbornadiene

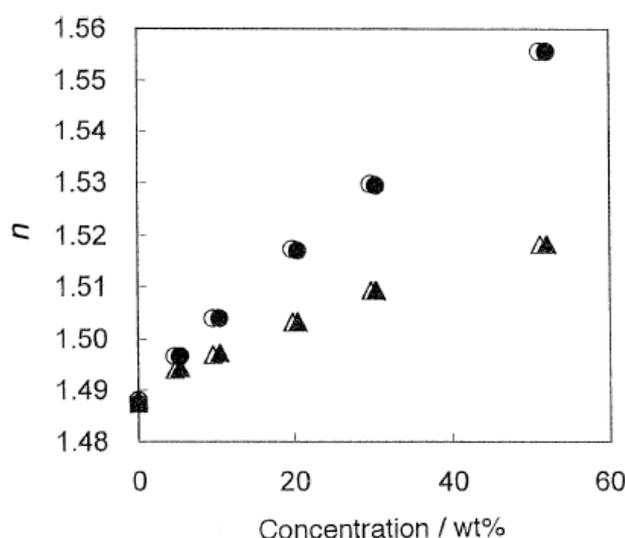
التغيرات في طيف الامتصاص لـ NBD1-4 موضحة في الشكل 2. يتناقص الامتصاص لـ NBD1 حول الطول الموجي 250 nm ( $\epsilon = 1.5 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) ويزاح ناحية 226 nm بعد التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية (الشكل a2). يتناقص الامتصاص لـ NBD2 حول 241 nm ( $\epsilon = 1.9 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) ويزاح إلى 230 nm بعد التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية (الشكل b2). يتناقص الامتصاص لـ NBD3 حول 350 nm ( $\epsilon = 5.4 \times 10^3 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) و 275 nm ( $\epsilon = 1.3 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) ويزاح إلى 229 nm بعد التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية (الشكل c2). يتناقص الامتصاص حول 400 nm ( $\epsilon = 1.0 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) ويزاح إلى 251 nm بعد التشعيع بضوء اقل من 420 nm (الشكل d2).

صاحب التغير في الامتصاص تناقص في معاملات الانكسار لأفلام PMMA المطعمة. موضح في الجدول I خلاصة المقارنة للتغيرات في معامل الانكسار لمشتقات مختلفة لـ norbornadiene في PMMA. يمكننا ان نرى ان التغيرات في معامل الانكسار تتأثر كثيرا بالمواد المستبدلة. NBD4 له طول اكبر بكثير لنظام الاقتران- $\pi$  من مشتقات norbornadiene الأخرى، والتي تصبح متمركزة خلال عملية الازوميرية الضوئية. وبالتالي تتغير معامل انكساره بشكل اكبر بكثير لمشتقات norbornadiene الأخرى. من هذه النتائج، نقترح ان اختفاء نظام الاقتران- $\pi$  يساهم في التغيرات في معامل الانكسار لمشتقات norbornadiene. يوضح الشكل 3 العلاقة بين أجزاء وزن NBD4 في أفلام PMMA ومعاملات الانكسار قبل وبعد التشعيع الضوئي. حتى حوالي 50 wt% تطعيم تم الحصول على أفلام شفافة، ومعاملات الانكسار لأفلام PMMA تزداد خطيا مع زيادة وزن أجزاء NBD4 في PMMA. في نهاية الأمر حصلنا على تغيرات كبيرة في معامل الانكسار بمقدار 0.038- (من  $n_{TE} = 1.556$  إلى 1.518 و من  $n_{TM} = 1.556$  إلى 1.518) بالتشعيع الضوئي لفيلم PMMA المطعم بـ 51.6 wt% من NBD4.

**الجدول I** معاملات الانكسار وتغيراتها لأفلام PMMA المحتوية على مشتقات Norbornadiene مختلفة (5 wt%) قبل وبعد التشعيع الضوئي عند طول موجي 632.8 nm.

	$n_b(\text{TE})$	$n_a(\text{TE})$	$-\Delta n(\text{TE})$	$n_b(\text{TM})$	$n_a(\text{TM})$	$-\Delta n(\text{TM})$
NBD1 / PMMA	1.4951	1.4949	0.0002	1.4954	1.4951	0.0003
NBD2 / PMMA	1.4965	1.4959	0.0006	1.4969	1.4960	0.0009
NBD3 / PMMA	1.4936	1.4925	0.0011	1.4940	1.4930	0.0010
NBD4 / PMMA	1.4965	1.4939	0.0026	1.4967	1.4942	0.0025

$n_b^a$  = معامل الانكسار قبل التشعيع، و  $n_a$  = معامل الانكسار بعد التشعيع،  $\Delta n = n_a - n_b$  سمك الفيلم: 4  $\mu\text{m}$  وزمن التشعيع ساعة واحدة.



**الشكل 3.** معاملات الانكسار،  $n$ ، لأفلام PMMA المحتوية على وزن أجزاء مختلفة من NBD4 قبل (الحلقات) وبعد التشعيع الضوئي (المثلث). الرموز المفتوحة هي لـ  $n$  في نمط TE والرموز الداكنة هي لـ  $n$  في نمط TM.

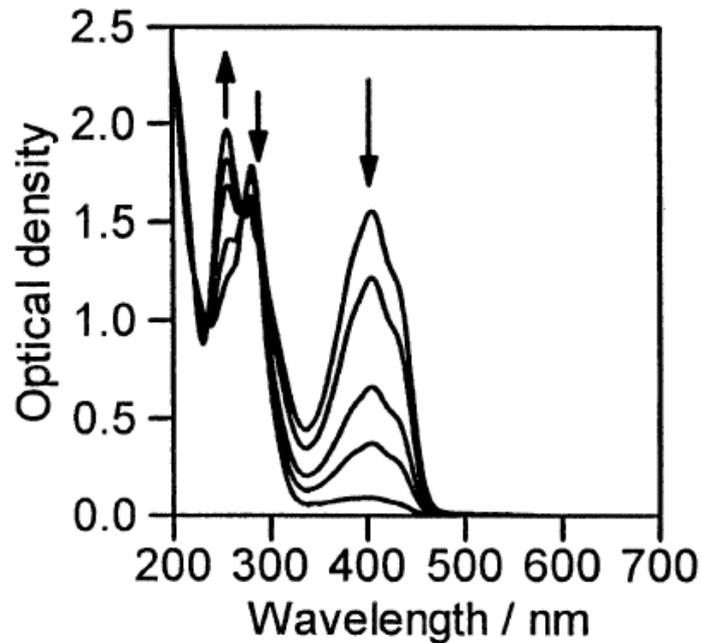
### التغيرات في معامل الانكسار لأفلام Poly-TBFNBD مستحثة ضوئية

التغيرات في طيف الامتصاص لـ PolyTBFNBD تحت تشعيع بواسطة مصباح زينبق ذو ضغط عالي موضحة في الشكل 4. يتناقص الامتصاص لـ PolyTBFNBD حول 404 nm ( $\epsilon = 1.5 \times 10^4$ ) و 281 nm ( $\epsilon = 1.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) وزيادة حول 256 nm بعد التشعيع. الإنتاج الكمي للايزميرية الضوئية لـ NBD لأصناف QC لفيلم PolyTBFNBD عند درجة حرارة الغرفة تم تحديده من منحنيات الرتبة الأولى للتحويل الزمني. مصدر الضوء من مصباح زينبق ذو ضغط عالي

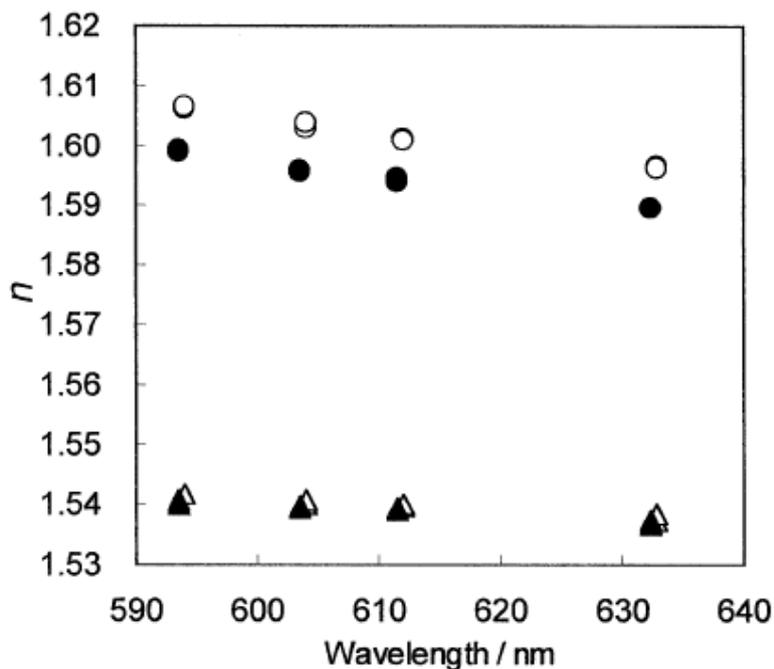
بفانتر UV39. تم إجراء قياسات طاقة التسخين (Actinometry) للضوء الساقط باستخدام مقياس ضوئي (Model 840-C Newport). الإنتاج الكمي للايزوميرية الضوئية تم حسابه من المعادلة 1،

$$\ln\left(\frac{T}{1-T}\right) - \ln\left(\frac{T_0}{1-T_0}\right) = 2.3 \times 10^3 I_0 \varepsilon \Phi t \quad (1)$$

حيث  $T$  هي النفاذية لأصناف NBD عند زمن تشعيع،  $t$ ،  $T_0$  النفاذية قبل التشعيع،  $I_0$  في einstein  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  هو شدة الضوء الساقط، و  $\varepsilon = 1.5 \times 10^4 \text{ (M}^{-1} \text{ cm}^{-1}\text{)}$  هي معامل الإثارة المولية لأصناف NBD عند طول موجي 400 nm في محلول كلوروفورم. لوحظ خط مستقيم عند رسم العلاقة بين  $\ln [T/(1-T)]$  مقابل  $t$  للنصف الأول من عملية الازوميرية الضوئية في فيلم PolyTBFNBD،



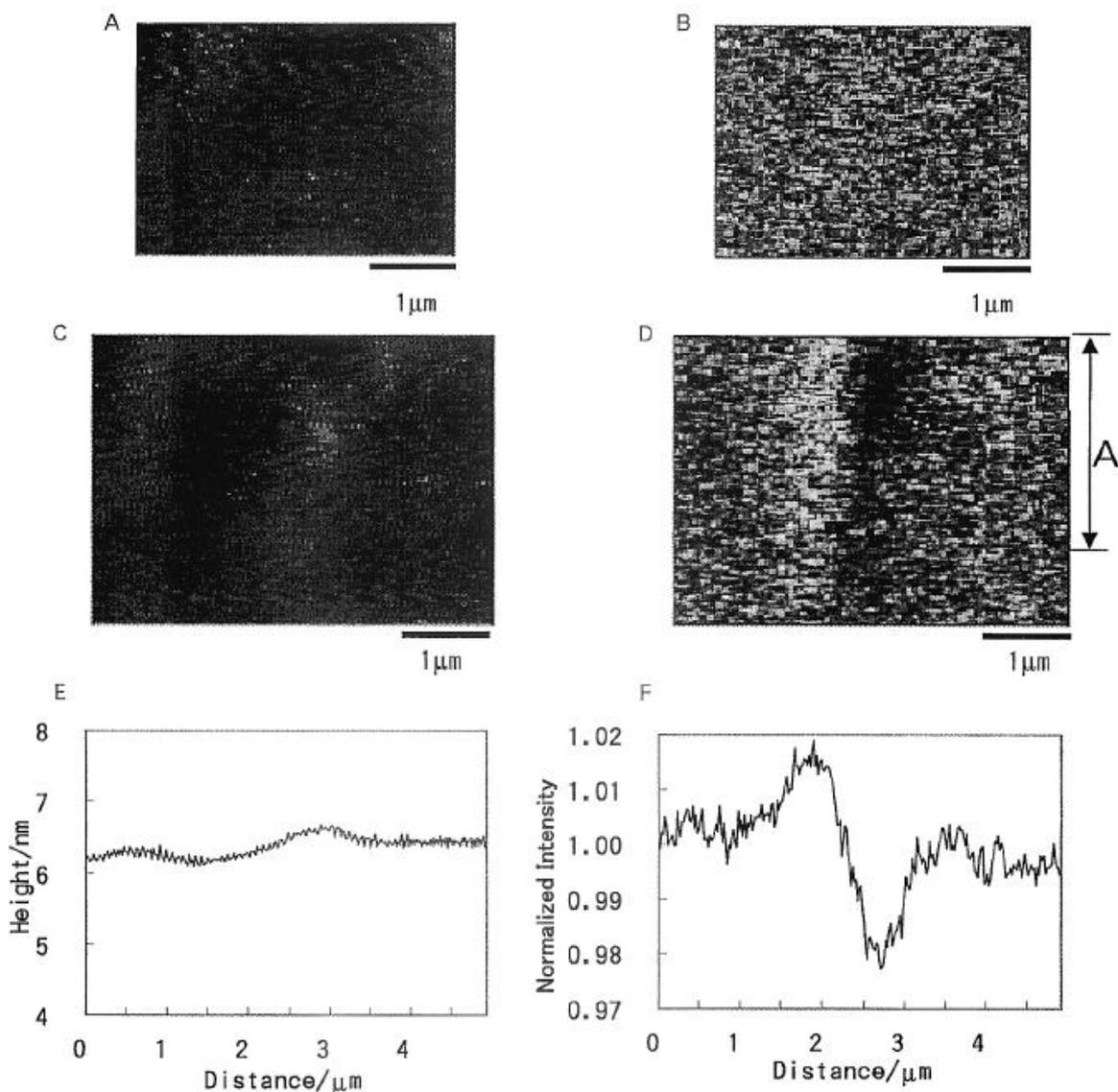
الشكل 4 طيف الامتصاص لـ PolyTBFNBD قبل وبعد التشعيع بواسطة مصباح زينبق ضغط عالي Y44. زمن التشعيع 0, 1, 3, 5, 10 دقيقة من الأعلى إلى الأسفل عند طول موجي 405 nm.



الشكل 5. علاقة معاملات الانكسار مع الطول الموجي لفيلم PolyTBFNBD قبل (الحلقة) وبعد مرور 60 دقيقة (المثلث) تشعيع من مصباح زينون بفلتر Y44. الرموز المفتوحة لـ  $n$  في نمط TE، والرموز الداكنة لـ  $n$  في نمط TM.

والتي منها تم إيجاد الإنتاج الكمي لعملية الايزوميرية الضوئية لأصناف NBD ووجدت بانها 0.83 عند درجة حرارة الغرفة في الفيلم. هذه القيمة عالية جدا بالمقارنة مع الأصباغ الفوتوكروميك الأخرى [23].

يوضح الشكل 5 معاملات الانكسار لأفلام Poly-TBFNBD قبل وبعد التشعيع الضوئي في النمط TE والنمط TM عند أطوال موجية مختلفة (594.0, 604.0, 612.0, 632.8 nm). لقد حصلنا على التغيرات في معامل الانكسار بمقدار -0.058 (من  $n_{TE} = 1.596$  إلى 1.538) عند طول موجي 632.8nm لنمط TE و-0.053 (من  $n_{TM} = 1.590$  إلى 1.537) عند طول موجي 632.8nm لنمط TM.



الشكل 6. شكل السطح (Topographic) (A, C) وصور النفاذية من NSOM (B, D) عند طول موجي 633 nm لفيلم PolyTBFNBD (50 nm) قبل (A, B) وبعد (C, D) بتشعيع عند طول موجي 442nm بمجس NSOM. مساحة التشعيع كانت خط رأسي بطول  $2.9 \mu\text{m}$  في مركز الصورة. متوسط مساحة المقطع لـ C و D موضح في الشكل E و F على التوالي. اخذ المتوسط على كافة المسح الأفقي المغطى للمنطقة الرأسية A.

أكبر قيمة للتغير في معامل الانكسار حتى الآن تم الحصول عليها لأفلام البوليمر المحتوية على مجموعات متفاعلة ضوئياً في منطقة غير رنينية. التغير الكبير في معامل الانكسار نتيجة لاختفاء للاقتتران- $\pi$  الطويل الناتج عن عملية الايزوميرية الضوئية ونتيجة لتمرکز المجموعات العطرية (aromatic) وللتركيز العالي لأصناف NBD في الفيلم بواسطة إدخالهم في كل جوانب المجموعة للبوليمرات.

## التشكيل النمطي لمعامل الانكسار على أفلام PolyTBFNBD باستخدام NSOM

### Refractive-Index Patterning on PolyTBFNBD Films with NSOM

تم تشييع فيلم PolyTBFNBD بسبك حوالي 50 nm بواسطة ضوء سريع الزوال (evanescent) من مجس NSOM مقترن بليزر He-Cd طولله الموجي 442 nm. وفي نفس اللحظة تم الحصول على صور طبوغرافية (topographic) وصور NSOM أخذت عند طول موجي 633 m باستخدام ليزر هيليوم نيون قبل وبعد التشييع بضوء 442 nm كما هو موضح في الشكل 6. خط التشييع بطول 2.9  $\mu\text{m}$  موجود أفقيا في مركز الصورة. قبل التشييع بـ 442 nm، لم يلحظ أي صورة سواء بصور طبوغرافية أو بـ NSOM (الشكل A6 و B6). بعد عشرون ثانية من التشييع الماسح لضوء 442 nm، فإن الصورة الطبوغرافية (الشكل C6) تكاد تظهر، ولكنها غير مكتملة، مسطحة في منطقة التشييع. بالمقابل للصورة الطبوغرافية، حزمة داكنة ظهرت في منطقة التشييع لصورة NSOM (الشكل D6)، بسبب التفاعل الكيميائي الضوئي لمجموعات NBD في الفيلم.

تم الحصول متوسط مساحات مقطع الصور وذلك لتقدير الطبوغرافيا والتباين الضوئي على المدى القريب بشكل دقيق. الشكل E6 والشكل F6 هما مساحة مقطع لمتوسط الخطوط الأفقية التي تغطي المدى الرأسي A للشكل C6 والشكل D6 على التوالي. التغيرات الطبوغرافية اصغر من 0.5 nm وتقريبا مهمة للخواص البصرية للفيلم. هذا التغير الطبوغرافي اقل بكثير من تلك التي نشرت في بحوث علمية سابقة لعملية الازيميرية الضوئية [24] وعملية التبييض الضوئي (photobleaching) [25] لافلام البوليمر المحتوية على صبغة azo.

مساحة مقطع صورة NSOM المسوية (normalized) مع مستوى الجزء الذي لم يتعرض للتشييع (الشكل F6) يوضح تباين ضوئي واضح بمقدار 0.02 نشأ بالتشييع بضوء 442 nm، والذي يعتبر اكبر بكثير من الذي حصلنا عليه سابقا لتباين بصري بمقدار 0.005 [21] في أفلام PMMA المطعمة بـ PNCA. اتساع الحزمة الظاهرة في الشكل F6 (حوالي 500 nm) والحواف الحادة لنظام التشكيل النمطي (pattern system) (حوالي 200 nm) قد تحسنت في النظام الحالي بالمقارنة مع النتائج السابقة (2  $\mu\text{m}$  و 300 nm على التوالي [21])، وهذا بسبب تغير اكبر في معامل انكسار PolyTBFNBD ( $\Delta n = -0.058$ ) من فيلم PMMA المطعم بـ PNCA ( $\Delta n = -0.006$ ) تحت التشييع الضوئي.

تجدر الإشارة إلى ان PolyTBFNBD شفاف تماما عند طول موجي 633 nm، ولهذا التباين الضوئي الملحوظ في الشكل 6 لم يحدث من الزيادة في الكثافة الضوئية. لقد أشارت البحوث العلمية إلى انه في

نظام المدى القريب، العينة الشفافة بتغير مكاني في معامل الانكسار قد تظهر أيضا تباين نفاذي [26,27].  
التغير الظاهر في شدة النفاذية مرتبطة مع كفاءة الاقتران للمدى الضوئي القريب (مجال السريع الزوال)  
حتى المدى البعيد (انتشار الضوء). وكما اقترح في بحثنا السابق [21] فان نظرية تشتت رالي  
(Rayleigh) التقليدية يمكن ان تطبق بتقريب أولي لكفاءة الاقتران للمجال الضوئي القريب وحتى  
المجال البعيد. وعليه فانه عندما يكون التغير في معامل الانكسار صغير بالمقارنة مع قيمتها المطلقة، فان  
التغير في شدة النفاذ سوف تتناسب طرديا مع معامل الانكسار، وهذا هو الحال في النتائج الحالية. السبب  
في المساحة المضيئة على الجانب الأيسر من الخط الداكن في الشكل D6 ليس واضح بعد، ولكن قد يكون  
بسبب تشتت ضوء 633 nm سريع الزوال (evanescent) المتسرب من مساحة الايزميرية عند السطح  
البيني لتباين معامل الانكسار. المساحة الأقل إضاءة على الجانب الأيمن يمكن ان تفسر من خلال شكل  
فتحة مجس NSOM المستخدمة، حيث ضوء 442 nm المستحث للتفاعل يذهب قليلا ناحية الجانب  
الأيمن.

## الاستنتاج Conclusion

تم ملاحظة تغيرات كبيرة في معامل الانكسار مستحثة ضوئية لأفلام PMMA محتوية على مشتقات  
NBD ولبوليمر يحتوي على مجموعات NBD باستبدال thiophenyl و benzofuryl أظهرت تناقص  
في معامل الانكسار بمقدار 0.05 – 0.06 عند طول موجي 633 – 594 nm، وهي اكثر قيمة تم  
الحصول عليها حتى الآن للتغير في معامل الانكسار في منطقة غير الرنين مستحثة بتفاعلات كيميائية  
ضوئية.

تشكيل نمطي لمعامل الانكسار على مقياس دقيق على فيلم Poly-TBFNBD بتشعيع 633 و 442 nm  
وقد لوحظت صورة التشكيل بدون أي تغير في شكل السطح وفي الامتصاص الضوئي باستخدام  
نمط الإضاءة لجهاز NSOM بدقة تحليلية 200 nm.

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

3-11-2011

[www.trgma.com](http://www.trgma.com)