مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد السابع والعشرون - المجلد الحادي عشر - علوم الفيزياء - آيار 2026 م
doi.org/10.52866/esj.2026.11.27.05

دراسة تركيبية وكشفية ضوئية لأغشية أوكسيد البزموث الثلاثي (Bi_2O_3) المشوبة بنسب مختلفة من أنابيب الكاربون النانوية (CNTs) والمرسبة بتقنية التبخير بالليزر النبضي وعلى أرضيات مختلفة

ولاء رشيد نواف [1] ، أ.م.د. أمجد حسين جاسم[2]
[2,1] قسم الفيزياء / جامعة تكريت / كلية العلوم
Email: Walaa.r.nawaf.phys544@st.tu.edu.iq[1]
Email: Amjad@tu.edu.iq[2]

مستخلص:

تم تحضير أغشية رقيقة بكتلة (1g) من أوكسيد البزموت الثلاثي (Bi_2O_3) مدعمة بنسب متفاوتة ٪ (1–4) من أنابيب الكاربون النانوية(CNTs) على أرضيات الزجاج والسليكون البلوري من نوع (p) ذو الاتجاهية (111) . بيّنت جميع النتائج تغير الخواص المدروسة الى اعلى قيمة لها مما يدل على أن التشويب لا يكون مثاليا عند نسب الخلط جميعها بل تفاوت ما بين نسب التشويب . كما يظهر من خلال فحص (XRD) ان هنالك تغيرات واضحة في خواص البنية البلورية إذ ازداد الحجم البلوري زيادة طردية مع نسبة التشويب ٪(1–2) اما عند نسبة تشويب ٪(3) فقد انخفض الحجم البلوري ثم عاد للزيادة عند نسبة التشويب ٪(4) ، ما يعكس تأثير أنابيب الكاربون النانوية (CNTs) المعقد على ترتيب التركيب البلوري وتطولر الطورالناتج، مع بقاء الطور البلوري السائد رباعيًّا من نوع (β-Bi_2O_3). كما وقد أنعكست التغيرات التركيبية على الخواص البصرية ومنها النفاذية، إذ تراوح متوسط النفاذية (3.83–9.76) ٪. اما منحنيات الاستجابة الضوئية (I–V) فقد أظهرت استجابة ضوئية فعّالة حيث أن جميع العينات أبدت زيادة في التيار عند الإضاءة مقارنة بالظلام،كما أظهرت النتائج سلوكًا طرديًا مع زيادة نسبة التشويب حتى النسبة ٪(3) ثم الانخفاض عند النسبة ٪(4). كما تم قياس سمك الغشاء باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (FE-SEM) باخذ صورة مقطع عرضي لعيّنة (Bi_2O_3–CNT) بنسبة ٪ (3) المترسّبة على الزجاج ووجد أن الغشاء يتميز بسمك يتراوح بين (358.5–399.9)nm، وسطح املس ومتماسك مع الركيزة، مما يدل على ترسيب متجانس دون وجود طبقة وسيطة أو مناطق فصل واضحة وبشكل عام تُظهر صور المقطع العرضي أن الغشاء المترسّب يتميزبشكل ثابت تقريبا وبواجهة واضحة مع الركيزة مما يدل على تحكم جيد في عملية الترسيب .

الكلمات المفتاحية: الأغشية الرقيقة ، ثلاثي أوكسيد البزموث (Bi_2O_3) ، الكاربون النانوي (CNTs)، الترسيب بالليزر النبضي (PLD) .

1. المقدمة

تُعدّ تقنية الأغشية الرقيقة من أبرز المجالات الحديثة والمتقدمة في ميدان تكنولوجيا المواد، إذ تُعنى بدراسة المواد شبه الموصلة لما تمتاز به من دور أساسي في تحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية. ويُطلق مصطلح «الغشاء الرقيق» على الطبقة التي تتكون من ذرات متناهية الصغر [1]. تختلف أنواع الأغشية الرقيقة تبعاً لتركيبها البنيوي أو الكيميائي، مما يمنحها خصائص كهربائية وميكانيكية متميزة تؤهلها للاستخدام في العديد من التطبيقات الإلكترونية، مثل الدوائر المتكاملة وأجهزة الاستشعار، ولا سيما تلك المعتمدة على شرائح السيليكون البلوري. يعرف السليكون البلوري بأنه عبارة عن مادة شبه موصلة تتميز بخواص كهربائية مميزة تؤهلها للاستخدام الواسع في تصنيع المكونات الالكترونية . ومن اهم هذه الخصائص هي قدرته على توصيل التيار الكهربائي بشكل متغير تبعا لدرجة الحرارة، حيث تُظهر عند درجات الحرارة المنخفضة سلوكًا قريبًا من المواد العازلة ، بينما عند ارتفاع درجة الحرارة يتجول إلى موصل كهربائي[2].

2. الجانب العملي

تم تحضير أغشية رقيقة من ثلاثي أوكسيد البزموث (Bi_2O_3) المدعّم بأنابيب الكاربون النانوية (CNTs) بتراكيز مختلفة بلغت ٪ (1،2،3،4) تم وزنها باستخدام الميزان الحساس، مضافة إلى كتلة مقدارها (1) g من أوكسيد البزموث. استُخدمت أرضيات من الزجاج والسليكون البلوري نوع (p-type) ذي الاتجاهية (111) وبمقاومية تتراوح بين . (1.5–4) Ω·cm .

جرى طحن وكيل المواد ثم خلط المساحيق يدويًا لمدة (30) min لضمان تجانس المكونات، ثم كبست العينات لمدة (5) min تحت ضغط (5) طن نُفذ الترسيب باستخدام تقنية الترسيب بالليزرالنبضي (PLD) بعدد (140) pulse، حيث بلغت طاقة كل نبضة (400) mJ، مع خفض الضغط داخل الحجرة إلى ما يزيد عن (10^{-3}) Torr، بينما كانت المسافة بين الهدف والركيزة (2) cm .عقب ذلك، أجريت عملية التلدين الحراري للعينات عند درجة حرارة (200) C° ولمدة (30) min من اجل زيادة التجانس والتقليل من الاجهادات لتحسين الخصائص التركيبية للأغشية المحضّرة.

3. النتائج والمناقشة

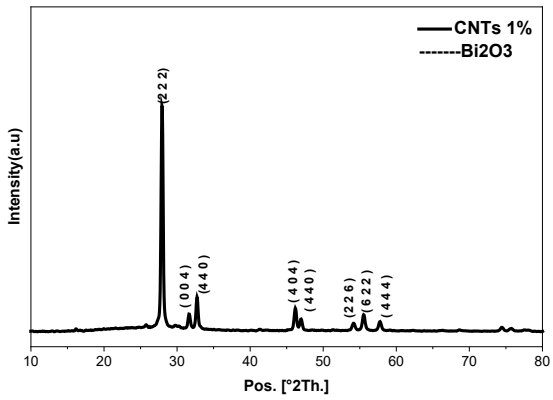
3–1 نتائج (XRD)

3–1–1 نتائج (XRD) على أرضيات الزجاج

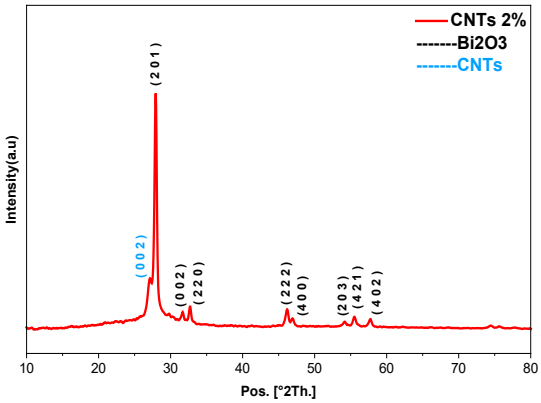
تم تحضير أغشية رقيقة بكتلة (1g) من (Bi_2O_3) المدعمة بأنابيب الكاربون النانوية (CNTs) بنسب ٪ (1–4) على قواعد زجاجية وسليكون بلوري ذا اتجاهية (111) باستخدام تقنية الترسيب بالليزر النبضي (PLD) بعدد(140) pulse وبطاقة (400) mJ ، تلاه تلدين حراري عند (200) C° لمدة 30 دقيقة، لدراسة تأثير التشويب على البنية البلورية، ومورفولوجيا السطح، والخواص البصرية. أظهرت تحليلات (XRD) على الزجاج بقاء الطور البلوري الرئيس من نوع (β-Bi_2O_3)، مع اختلافات ملحوظة في زوايا القمم (2θ) والمسافات البينية (d-spacing) وحجم البلورات (crystallite size) . كما هو موضح في الاشكال (1a-d)، عند النسبة ٪(1) من

(CNTs) ، ظهرت قمم عند (27.95°، 31.65°، 32.73°، 46.19°، 46.97°، 54.25°، 55.53° و57.76°) تقابل المستويات (222، 004، 400، 404، 440، 226، 622 و444) على التوالي ، مع حجم بلوري (23.30–30.98)nm، هذه النتائج تشير إلى أن التشويب المنخفض بالكاربون اسهم في تحسين درجة التبلور وزيادة انتظام الشبيكة مع المحافظة على الطور الرئيس ولم يلاحظ ظهور قمم للكاربون النانوي عند هذه النسبة المنخفظة اذ كان الطور السائد للبزموث بسبب عدم تأثر النظام بنسبة الخلط وهذا يتوافق مع اعمال بحثية أخرى [4,3]. أما عند النسبة ٪(2) من (CNTs)، سُجّلت قمم عند (27.94°، 31.69°، 32.71°، 46.21°، 46.91°، 54.16°، 55.53° و57.75°) والتي ترتبط بالمستويات (201)، (002)، (220)، (222)، (400)، (203)، (421) و(402) على التوالي ، ولوحظ ارتفاع طفيف في قيم الحجم البلوري مقارنة بالعينة المضاف اليها ٪ (1) من (CNTs)

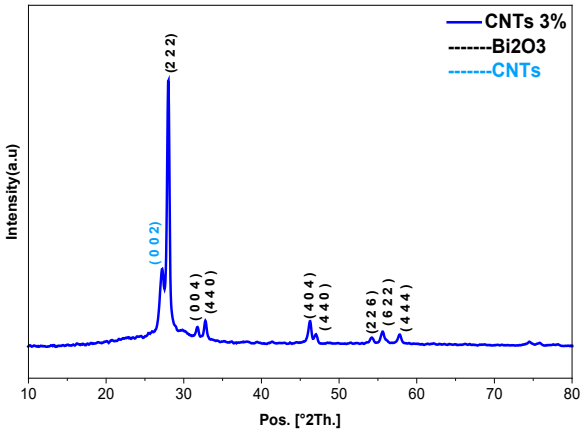
حيث بلغ الحجم البلوري (27.96–38.73) nm، وظهور واضح لقمة الكاربون النانوي عند (27.06°) والتي تقابل المستوى البلوري (002). أما عند النسبة ٪(3) من (CNTs) ، ظهرت القمم عند (27.24°، 31.81°، 32.80°، 46.28°، 47.08°، 54.20°، 55.64° و57.79°) والتي تقابل المستويات (222)، (004)، (400)، (404)، (440)، (226)، (622) و(444) على التوالي. وانخفاض شديد في الحجم البلوري ليصل إلى (1.59–3.27)nm فقط. ويُعزى ذلك إلى الترتيب الجديد الذي طرأ على الشبيكة البلورية نتيجة وجود (CNTs) حيث تعمل الانابيب الكاربونية على إحاطة ذرات البزموث فلا يمكن النماء بشكل يسمح بزيادة الحجم البلوري للمادة المنتجة مع تراكم الكاربون عند حدود الحبيبات، مما أعاق نمو البلورات وخفض حجمها بشكل كبير.مع ظهور قمة الكاربون النانوي عند (27.06°) والتي تقابل مستوى بلوري (002). أما عند النسبة ٪(4) من (CNTs)، استمرت القمم الرئيسة بالظهور عند (27.93°، 31.68°، 32.69°، 46.20°، 46.94°، 54.24°، 55.53° و57.76°) والمرتبطة بالمستويات (222)، (004)، (400)، (404)، (440)، (226)، (622) و(444) على التوالي. بالمقارنة مع النسبة ٪(3)، استعاد النمط البلوري وضوحاً نسبياً، وازدادت قيم الحجم البلوري لتتراوح بين (23.30–38.73)nm، يشير ذلك إلى تحقق توازن بنيوي، حيث يندمج الكاربون ضمن البنية البلورية أو عند حدود الحبيبات دون تكوين طور ثانوي واضح. تشير نتائج حساب الحجم البلوري المحسوب باستخدام معادلة شيرر (Scherrer) . [5] $D_{avg} = \frac{0.89\lambda}{\beta \cos\theta}$ من أنماط حيود الأشعة السينية (XRD) إلى أن حجم البلورات في الأغشية الرقيقة من أوكسيد البزموت المشوبة بالكاربون النانوي لا يزداد بصورة خطية مع ازدياد نسبة التشويب، بل يمر بمراحل متباينة تبعاً لنسبة التشويب [6].



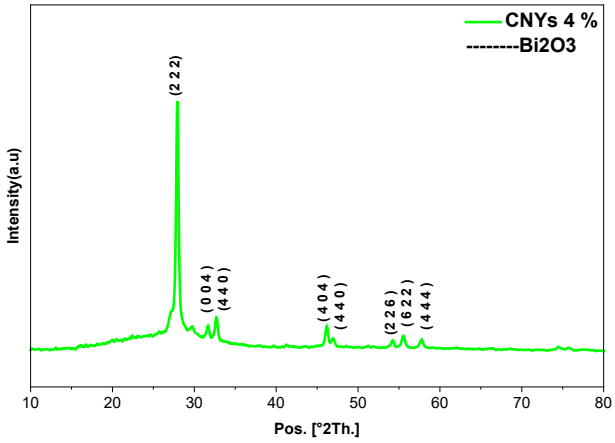
شكل (1a): نتائج (XRD) لعينة زجاج مرسب عليها أوكسيد البزموث المشوب بنسبة ٪1 من (CNTs).



شكل (1b): نتائج (XRD) لعينة زجاج مرسب عليها أوكسيد البزموث المشوب بنسبة ٪2 من (CNTs).



شكل (1c): نتائج (XRD) لعينة زجاج مرسب عليها أوكسيد البزموث المشوب بنسبة ٪3 من (CNTs).



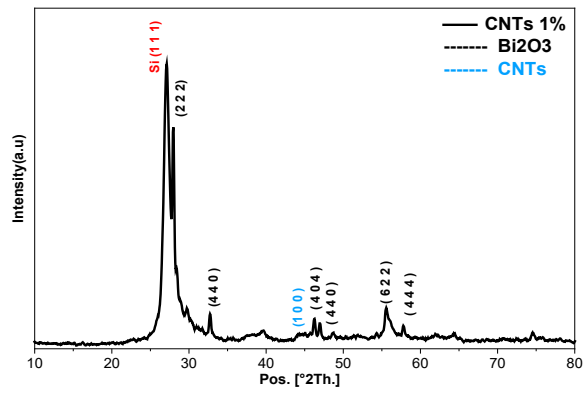
شكل (1d): نتائج (XRD) لعينة زجاج مرسب عليها أوكسيد البزموث المشوب بنسبة ٪4 من (CNTs).

3-1-2 نتائج (XRD) على أرضيات السليكون

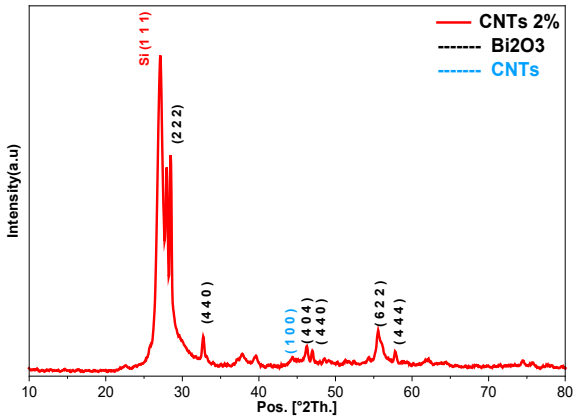
أظهرت (XRD) قمم رئيسية مشابهة على الركائز السيليكونية. كما هو موضح في الاشكال(2a-d)، عند نسبة تشويب ٪(1) من (CNTs) ، لوحظت قمم حيود رئيسية عند الزوايا (27.97°, 32.71°, 46.22°, 46.95°, 55.48°, 57.84°) والتي تعود إلى المستويات البلورية (222)، (400)، (404)، (440)، (622)، (444) على التوالي وقد أظهرت قيم الحجم البلوري (crystallite size) المحسوبة (من معادلة Scherrer) تراوحًا بين nm(38.73–9.55) ، مما يشير إلى نمو بلوري جيد نسبياً عند هذه النسبة من التشويب. أما عند نسبة ٪ (2) من (CNTs)، فقد ظهرت قمم مماثلة عند الزوايا (27.97°, 32.72°, 46.25°, 46.99°, 55.55°, 57.84°) والمناظرة للمستويات (222)، (400)، (404)، (440)، (622)، (444). لوحظ زيادة في الحجم البلوري (crystallite size) والذي يتراوح بين nm(19.10–38.73) مقارنة بنسبة ٪(1).

بينما عند ٪(3) من (CNTs) لوحظت قمم حيود عند الزوايا (28.45°, 32.72°46.97°, 55.53°) تعود للمستويات (111)، (200)، (220)، (311) على التوالي، مما نتج عنه أحجام بلورية (crystallite size)

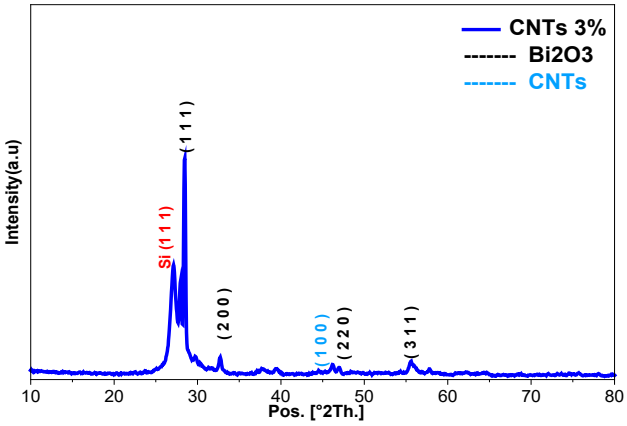
صغيرة جداً تراوحت بين (1.65–3.13)nm. هذا الانخفاض الحاد في الحجم (crystallite size) يعكس الدور الكبير لمحتوى الكاربون النانوي العالي في زيادة كثافة مراكز التبلور (nucleation sites) وإعاقة نمو البلورات، إضافةً إلى إدخال إجهادات بلورية داخل الشبيكة. أما عند نسبة ٪(4) من (CNTs)، فقد ظهرت قمم حيود عند الزوايا (28.47°, 32.73°, 46.96°, 55.53°, 58.80°) والتي تعود للمستويات (111)، (200)، (220)، (311)، (222). بلغت أحجام البلورات (crystallite size) المحسوبة نطاقاً واسعاً (51.59 – 28.51)nm، وهو ما يشير إلى حدوث إعادة نمو بلوري مقارنة بنسبة ٪(3). ، ما يعكس إعادة توزيع أو تجمع جزئي للـ (CNTs) عند حدود الحبيبات وتحقيق نمو بلوري أفضل. كما لوحظ ظهور طور (CNTs) عند (44°) (المستوى 100) لجميع العينات، نتيجة انخفاض تأثير إشارة الركيزة في هذا المجال. توضح النتائج بعض الاختلافات المهمة بين الارضيات، حيث تظهر قمم للكاربون النانوي عند زاوية (44°) عند (المستوى 100) بالنسبة لأرضيات السيليكون البلوري بسبب خشونة السطح التي تعزز نمو بعض الاتجاهات البلورية، بينما تكون هذه القمم ضعيفة أو غائبة على أرضيات الزجاج ذات السطح الأملس، إذ يقل ثبات الغشاء أو يخفف ظهور القمم الضعيفة للكاربون النانوي ضمن المجال الزاوي (42°–44°) وهذا كله على أساس خشونة السطح ونوعية التركيب البلوري والشبيكي لمادة الركيزة.



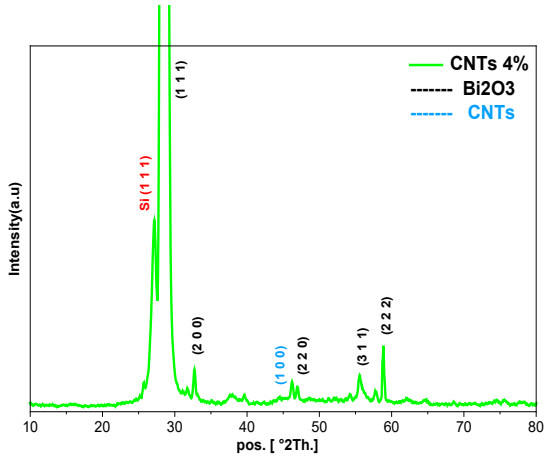
شكل (2a): نتائج (XRD) لعينة سليكون مرسب عليها أوكسيد البزموث المشوب بنسبة ٪1 من. (CNTs)



شكل (2b): نتائج (XRD) لعينة سليكون مرسب عليها أوكسيد البزموث المشوب بنسبة ٪2 من. (CNTs)



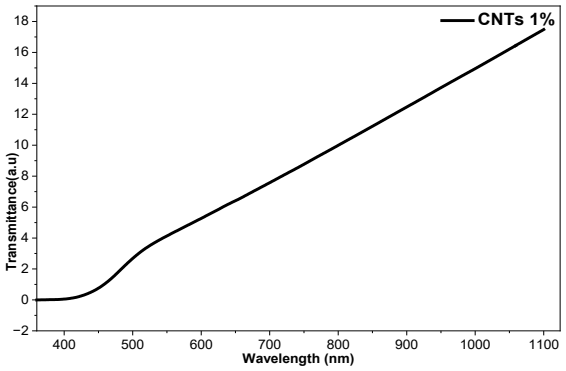
شكل (2c): نتائج (XRD) لعينة سليكون مرسب عليها أوكسيد البزموث المشوب بنسبة 3٪ من . (CNTs)



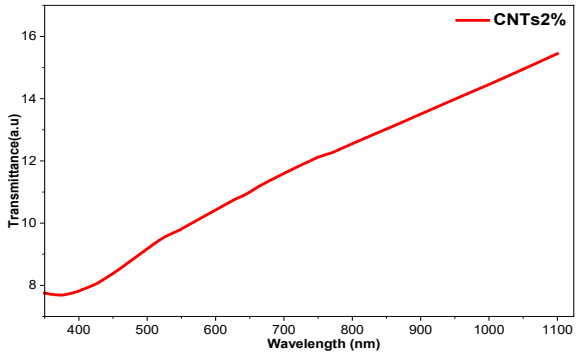
شكل (2d): نتائج (XRD) لعينة سليكون مرسب عليها أوكسيد البزموث المشوب بنسبة 4٪ من. (CNTs)

3-2 **النفاذية** (Transmittance)

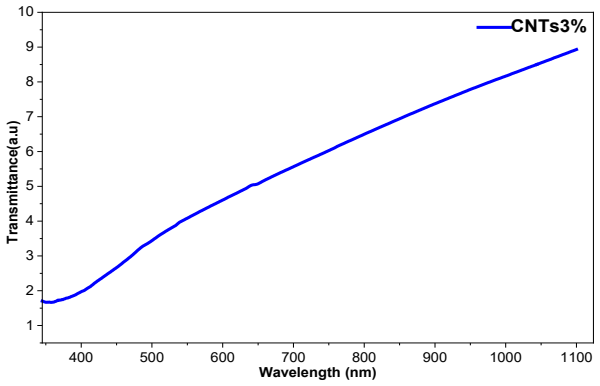
أظهرت قياسات النفاذية لأغشية (Bi_2O_3/CNTs) سلوكًا غير خطي مع زيادة نسبة التشويب، حيث بلغت النفاذية ٪ (3.883) عند نسبة تشويب٪ (1) من (CNTs)، وارتفعت إلى ٪ (9.75) عند نسبة ٪ (2) من (CNTs)، ثم انخفضت إلى ٪ (3.94)عند نسبة ٪ (3) من (CNTs)، قبل أن تعود للارتفاع عند نسبة ٪ (4) من (CNTs) لتصل إلى ٪ (9.76). يعكس هذا التغير أن النفاذية لا تعتمد على التركيز وحده، بل على العوامل البنيوية والسطحية المصاحبة للترسيب، مثل توزيع الـ(CNT)، حجم التجمعات، وخشونة السطح. عند (٪ 1) قد تقل النفاذية بسبب وجود مراكز امتصاص إضافية أو كثافة أعلى للطبقة، بينما يؤدي (٪ 2) إلى تحسين التجانس وتقليل العيوب، وعند (٪ 3) تقل النفاذية نتيجة تجمّع الأنابيب وزيادة الخشونة التي تزيد من الانعكاس، في حين أن (٪ 4) تحقق زيادة جديدة بسبب تكوين شبيكة أكثر انتظامًا تقلل الفقد الضوئي والقائم على أساس الأنعكاس . يتوافق هذا السلوك مع دراسات سابقة على أغشية (NiO) و(ZnO) و(Co_3O_4)، التي أكدت تأثير البنية البلورية، حجم الجسيمات، وتلدين الحرارة على النفاذية [7]. الأشكال (3a-d) توضح أطياف النفاذية لجميع العينات.



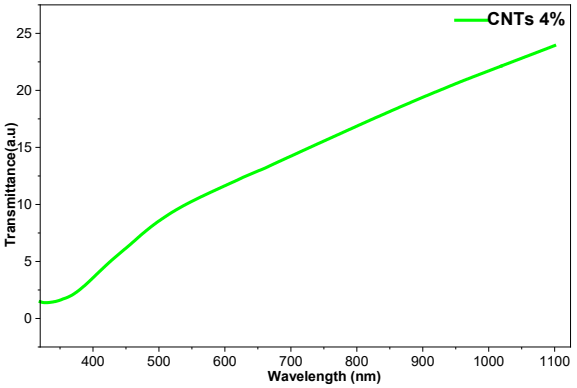
شكل (3a): طيف النفاذية المرئية للأشعة فوق البنفسجية لأوكسيد البزموث المشوب بنسبة 1٪ من (CNTs)



شكل (3b): طيف النفاذية المرئية للأشعة فوق البنفسجية لأوكسيد البزموث المشوب بنسبة 2٪ من (CNTs)



شكل (3c): طيف النفاذية المرئية للأشعة فوق البنفسجية لأوكسيد البزموث المشوب بنسبة 3٪ من (CNTs)

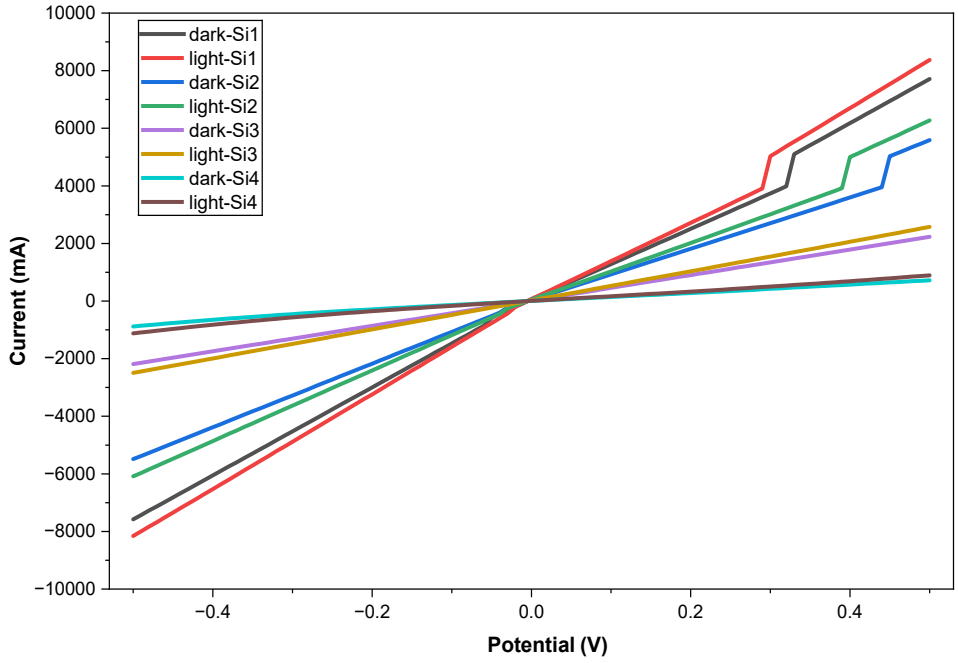


شكل (3d):طيف النفاذية المرئية للأشعة فوق البنفسجية لأوكسيد البزموث المشوب بنسبة 4٪ من (CNTs)

3 – 3 تفسير منحنيات الاستجابة الضوئية (I–V) لأغشية Bi_2O_3 المشوبة بأنابيب الكاربون النانوية والمترسّبة على أرضيات السليكون البلوري.

تُظهر منحنيات التيار–الجهد (I–V) المبينة في الشكل (4)، المقاسة في الظلام وتحت الإضاءة، السلوك الكهروضوئي لأغشية $(Bi_2O)_3$ المشوبة بأنابيب الكاربون النانوية (CNTs) المترسّبة على ركائز (Si) من النوع (p)، حيث ازداد التيار تحت الإضاءة لجميع العينات مقارنةً بالظلام نتيجة تولّد أزواج إلكترون–فجوة إضافية بفعل الامتصاص الضوئي. عند نسبة ٪ (1) من (CNTs) كانت الاستجابة الضوئية محدودة لعدم كفاية تكوين شبكة توصيل فعّالة. في المقابل، أظهرت العينة المشوبة بنسبة ٪ (2) من (CNTs) ارتفاعًا واضحًا في التيار الضوئي يُعزى إلى تحسن التوصيلية وتقليل إعادة الارتباط، متزامنًا مع الانخفاض الحاد في فجوة الطاقة (1.581 eV) الذي سهّل امتصاص الفوتونات منخفضة الطاقة. سجلت العينة المشوبة بنسبة ٪ (3) من (CNTs) أعلى استجابة ضوئية، نتيجة تحقيق توازن مثالي بين كثافة (CNTs) وبنية

(Bi_2O_3) وتكوّن وصلة غير متماثلة فعّالة عند واجهة (Bi_2O_3/Si) ، وهو ما يتوافق مع نتائج الدراسات السابقة [8،9]. أما عند نسبة ٪ (4) من (CNTs) فلوحظ انخفاض نسبي في التيار الضوئي بسبب تجمع الأنابيب الكاربونية وتكوّن مراكز عيوب رفعت معدلات إعادة الارتباط وخفّضت كفاءة النقل والامتصاص الضوئي. عمومًا، تبيّن النتائج أن الاستجابة الضوئية تتحسن بزيادة نسبة التشويب حتى التركيز الأمثل ٪ (3) ثم تتراجع عند التراكيز الأعلى، وهو سلوك غير خطي يتوافق مع تقارير أنظمة أكاسيد مشوبة بـ (CNTs) مثل [10] (ZnO–CNT) . وكواشف المواد ثنائية الأبعاد [11]. كما أظهرت المنحنيات سلوكًا شبه أومي عند الجهود المنخفضة مع انحراف عند الجهود الأعلى، مما يؤكد تشكّل وصلة غير متماثلة فعّالة تسهم في فصل الشحنات وتحسين كفاءة التحويل الكهروضوئي، ما يجعل هذه الأغشية مناسبة لتطبيقات الكواشف الضوئية والأجهزة الكهروضوئية.

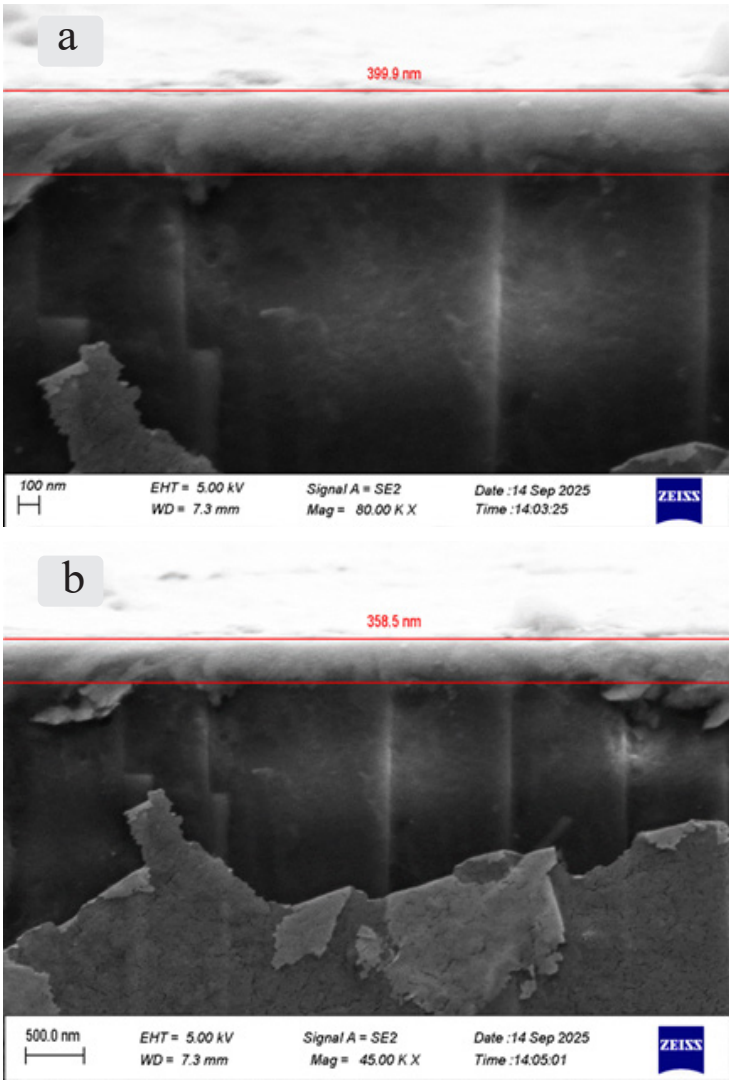


شكل (4): منحنيات الاستجابة الضوئية (I–V) لأغشية Bi_2O_3 المشوبة بأنابيب الكاربون النانوية والمترسّبة على أرضيات السليكون البلوري.

3-4 المقطع العرضي

استُخدم المجهر الإلكتروني الماسح (FESEM) لدراسة المقطع العرضي للأغشية وتقييم طبيعة نموها وتجانسها واتصالها بالركيزة، لما يتمتع به من قدرة تكبير عالية ودقة توصيف للبنية السطحية، وهو أسلوب معتمد في دراسات مماثلة [12]. أظهرت صورة المقطع العرضي لعيّنة (Bi_2O_3–CNT) بنسبة تشويب ٪ (3) من (CNTs) المترسّبة على الزجاج (الشكل 5) غشاءً متماسكًا بسمك يتراوح بين (358.5–399.9) nm، مع طوبوغرافية

واضحة وملساء دون وجود طبقات وسطية أو مناطق انفصال أو حدود حبيبية ، مما يدل على ترسيب متجانس. كما لوحظ نمو عمودي متراص للحبيبات وتدنٍّ في المسامية، وهو ما يعكس تحكمًا جيدًا في طاقة نبضات الليزر أثناء الترسيب وتحسّنًا في التصاق الغشاء بالركيزة وتقليلًا في العيوب الداخلية التي قد تعمل كمراكز لإعادة الارتباط. وتُسهم هذه البنية المتماسكة في تعزيز النقل الفعّال للحاملات الكهربائية وتقليل المقاومة الداخلية، الأمر الذي يرتبط بتحسّن الاستجابة الضوئية عند نسبة التشويب المثلى ٪ (3) نتيجة التوزيع المنتظم للـ(CNTs) وتحسّن الاتصال البيني. ويأتي هذا السلوك متوافقًا مع ما أُشير إليه في أغشية (Bi_2O_3) المحضّرة بتقنية الترسيب الذري الطبقي (ALD)، والتي أظهرت نموًا متجانسًا وانتقالًا جزئيًا من الحالة غير المتبلورة إلى البلورية بعد التلدين، رغم اختلاف تقنيات التحضير [13]. شكل (5a-b) : يبين المقطع العرضي في مناطق مختلفة لعينة الزجاج المشوبة بنسبة تشويب (3)٪ من (CNTs).



شكل (5a-b) :المقطع العرضي في مناطق مختلفة لعينة الزجاج المشوبة بنسبة تشويب 3٪ من (CNTs).

جدول(1): نتائج (XRD)، أطياف النفاذية ، والأستجابة الضوئية ،
لأغشية ثلاثي أوكسيد البزموث المشوبة بأنابيب الكاربون النانوية والمرسبة على أرضيات مختلفة.

CNTs		1%	2%	3%	4%
crystallite size (nm) (glass)		(23.30-30.98)	(27.96-38.73)	(1.59-3.27)	(38.73-23.30)
crystallite size (nm) (Si)		(9.55–38.73)	(19.10-38.73)	(1.65-3.13)	(51.59 – 28.51)
Transmittance (glass)		(3.883) %	(9.75) %	(3.94) %	(9.76) %
Eg (eV)		2.673	1.581	3.270	3.158
I(mA) (Si)	dark	7709.941	5589.585	2234.247	722.4103
	light	8374.002	6271.957	2576.043	896.36

4. الاستنتاجات

أظهرت نتائج جميع الفحوصات أن الأغشية الرقيقة المُصنعة من (1g) من (Bi_2O_3) والمشوبة بنسب تشويب مختلفة بلغت (1,2,3,4)٪ من أنابيب الكاربون النانوية (CNTs) ، تتأثر بشكل غير خطي باختلاف نسبة التشويب ، حيث تتغير البنية البلورية، النفاذية، الاستجابة الضوئية ، وسمك الأغشية تبعًا لذلك ، حيث أظهرت نتائج (XRD) للأغشية المرسبة على أرضيات الزجاج والسليكون أن الحجم البلوري بدأ بالزيادة تبعا لزيادة نسبة التشويب عند النسب (1,2)٪ ، ثم الأنخفاض الشديد في الحجم البلوري عند نسبة التشويب (3)٪ ، ثم بدأ بالزيادة مرة أخرى عند نسبة التشويب (4)٪. اما بالنسبة للنفاذية فقد لوحظ سلوك مشابه ، حيث ازدادت النفاذية خطيًا عند نسبتي التشويب (1,2)٪ على التوالي ثم أنخفاضها عند نسبة التشويب (3)٪ ثم ازدادت عند النسبة (4)٪ . أما منحنيات الاستجابة الضوئية فكانت خطية مع تغير نسبة التشويب لغاية النسبة (3)٪ والتي حققت أعلى استجابة ضوئية وصولاً إلى النسبة (4)٪ التي حدث عندها انخفاض نسبي في الاستجابة الضوئية. كذلك تم الحصول على غشاءٍ متماسكٍ بسمك (358.5–399.9)nm عند نسبة التشويب (3)٪ للعينة المرسبة على أرضية من الزجاج، الأمر الذي يرتبط بتحسين الاستجابة الضوئية عند هذه النسبة، نستنتج أن نسبة التشويب (3)٪ هي النسبة المثلى لجميع العينات.

المصادر

[1] Greer JA, Tabat MD. Large-area pulsed laser deposition: techniques and applications. J Vac Sci Technol A: Vac, Surfaces, and Films. 1995;13(3):1175–81.

[2] Mukherjee M, editor. Silicon Carbide: materials, processing and applications in electronic devices. BoD–Books on Demand; 2011.

[3] Sabri TY, Jasim AS. Effect of MWCNT concentration on characteristics of Bi2O3/MWCNT nanocomposite films prepared by pulsed-laser deposition. Vol. 21. n.d.

[4] Vyas R, Sharma S, Gupta P, Sachdev K, Sharma SK. Synthesis and hydrogen sensing properties of CNT-ZnO nanocomposite thin films. Int J Mod Phys Conf Ser. 2013;22:478–82. https://doi.org/10.1142/s2010194513010544

[5] Bishnoi A, Kumar S, Joshi N. Wide-angle X-ray diffraction (WXRD): technique for characterization of nanomaterials and polymer nanocomposites. In: Microscopy methods in nanomaterials characterization. Elsevier; 2017. p. 313–37.

[6] Hasan BA, Mahmood SS, Issa HH, Issa TT. Structural, morphology and optical properties of AlxSb1-x thin films prepared by pulsed laser deposition (PLD). AIP Conf Proc. 2021;2372. https://doi.org/10.1063/5.0066747

[7] Anyaegbunam FNC, Augustine C. A study of optical band gap and associated Urbach energy tail of chemically deposited metal oxides binary thin films. Digest J Nanomater Biostruct. n.d.;13(3).

[8] Shaker SS, Ismail RA, Ahmed DS. High-responsivity heterojunction photodetector based on Bi2O3-decorated MWCNTs nanostructure grown on silicon via laser ablation in liquid. J Inorg Organomet Polym Mater. 2022;32(4):1381–8. https://doi.org/10.1007/s10904-021-02199-4

[9] Ismail RA. Fabrication and characteristics study of n-Bi2O3/n-Si heterojunction. J Semicond Technol Sci. 2006;6(2). https://www.researchgate.net/publication/268270117

[10] Kim HJ, Lee SH, Jeon D, Lee SN. High-performance sol–gel-derived CNT-ZnO nanocomposite-based photodetectors with controlled surface wrinkles. Materials. 2024;17(21). https://doi.org/10.3390/ma17215325

[11] Jian J, Chang H, Dong P, Bai Z, Zuo K. A mechanism for the variation in the photoelectric performance of a photodetector based on CVD-grown 2D MoS2. RSC Adv. 2021;11(9):5204–17. https://doi.org/10.1039/d0ra10302k

[12] Darweesh SY, Jassim AH, Taha AO. Enhancement some physical properties of metal-based composites reinforced with carbide materials by thermal spray method. AIP Conf Proc. 2023;2977(1). https://doi.

org/10.1063/5.0182255

[13] Müller MJ, Komander K, Höhn C, Van de Krol R, Bronneberg AC. Growth of Bi2O3 films by thermal- and plasma-enhanced atomic layer deposition monitored with real-time spectroscopic ellipsometry for photocatalytic water splitting. ACS Appl Nano Mater. 2019;2(10):6277–86. https://doi.org/10.1021/acsanm.9b01261