**تأثير الاشابة بالنحاس على السلوك الالكتروضوئي لمقاومة ضوئية من أكسيد الكادميوم**

**د. عبلة الزعبي\* أ. د. ناصر سعد الدين\*\***

**ملخص :**

تم تحضير أفلام رقيقة من أكسيد الكادميوم النقي والمشاب بالنحاس بطريقة البخ الحراري باستخدام المحاليل الكيميائية من خلات الكادميوم وخلاء النحاس كمواد بدء على ركائز من الزجاج العادي عند درجة حرارة . تم تغير تركيز الاشابة بالنحاس في المجال بخطوة .

درست الخصائص البنيوية للأفلام المحضرة بواسطة تقنية انعراج الأشعة السينية (*XRD*). بينت نتائج انعراج الأشعة السينية أن أفلام أكسيد الكادميوم المحضرة متعددة التبلور ذات بنية بلورية مكعبية تنتمي إلى المجموعة الفراغية . لوحظ من معطيات الانعراج أن الاتجاه المفضل وفق المحور [111] يزداد مع تركيز الاشابة بالنحاس.

تم حساب ثابت الشبكة البلورية للأفلام المحضرة. وجد أن حجم الحبيبات البلورية يتناقص بزيادة تركيز الاشابة بالنحاس. تم قياس أطياف النفوذية في مجال الأطوال الموجية باستخدام المقياس الطيفي. وجد أن قيم طاقة المجال المحظور للأفلام المشابة بالنحاس أقل من تلك التي للأفلام النقية. درست الخصائص الكهربائية للأفلام المحضرة. تم دراسة تغير المقاومة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة. وجد أن قيم طاقة التنشيط تكون منخفضة. تم قياس المميزة *I*-*V* لأفلام أكسيد الكادميوم النقي والمشاب بالنحاس عند درجة حرارة الغرفة في حالة الظلام والإضاءة بضوء *UV*. وجد أن المقاومات في الظلام والإضاءة تتناقص مع زيادة تركيز الاشابة بالنحاس حتى التركيز .

**كلمات مفتاحية**: أكسيد الكادميوم \_ الاشابة \_ طاقة التنشيط \_ناقل ضوئي\_ عامل المثالية.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\* أستاذ مساعد في قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة البعث

\*\* أستاذ في قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة البعث

***Characteristics of Cu doped CdO thin films as Photoconductive detectors***

**Dr. Abla Al-Zoubi, Dr. Nasser Saad Al-Din,**

**University of Al-Baath Faculty of science**

**Dept. of Physics –Homs-Syria**

**Abstract**

pure and Cu-doped CdO thin films have been deposited on glass substrate by spray pyrolysis technique using and as precursor solutions at substrate temperature 450 ˚C. The copper concentration was varied in the range of .

The structural properties of prepared films were studied by using X-ray diffraction (XRD). The XRD results showed that the prepared films were polycrystalline and had cubic structure with S.G. . It was found from diffraction data that the [111] preferential orientation increased with the Cu-doping concentrations. The lattice constant of prepared films was calculated. It was found that the crystallite size values had decreased with increasing of the copper concentration.

The transmission spectra were measured in the wavelength (400-2000) nm using Spectrophotometer. It is found that the band gap energy values of Cu-doped films are less than that of the pure films.

The electrical properties of prepared films were studied. The variation of electrical resistance versus temperature was studied. It was found that the activation energy values are low. The I–V characteristics of the pure and Cu-doped CdO films were measured at room temperature in the dark and under UV illumination. It was found that the dark and light resistances decrease with increasing of Cu-doping until 4 wt%.

**KEYWORDS**: CdO, doping, activation energy, photoconductive, ideality factor

**1 - مقدمة**

لاقت الأكاسيد الناقلة الشفافة مثل أكسيد الزنك وأكسيد القصدير وأكسيد الأنديوم وأكسيد الكادميوم الكثير من الاهتمام في السنوات الأخيرة بسبب خصائصها المميزة واستخداماتها في تطبيقات شاشات العرض والخلايا الشمسية والنوافذ الذكية وثنائيات الإصدار الضوئي والموجهات الموجية الضوئية والأجهزة الالكتروضوئية الأخرى [1,2,3].

من بين هذه الأكاسيد المعدنية جذب أكسيد الكادميوم اهتمام العلماء والباحثين بسبب خصائصه الفريدة [3,4].

ينتمي أكسيد الكادميوم إلى المجموعة II-VI من الجدول الدوري ويتبلور وفق بنية بلورية مكعبية متمركزة الوجوه [5]. يعتبر *CdO* نصف ناقل من النمط n ويملك مجال محظور مباشر يمتد في المجال [6,7]. تبدي الأفلام الرقيقة القائمة على أكسيد الكادميوم مقاومة نوعية كهربائية منخفضة بسبب شواغر الأكسجين وحشوات الكادميوم [8].

تم في السنوات الأخيرة الماضية دراسة تأثير الكثير من الشوائب وتركيزها على الخصائص الفيزيائية لأكسيد الكادميوم، نذكر من هذه الشوائب الألمنيوم *Al* والليثيوم *Li* والغاليوم *Ga* والنحاس *Cu* والزنك *Zn* [9].

تم تحضير أفلام رقيقة من أكسيد الكادميوم بطرائق مختلفة مثل التبخير الحراري والبخ الحراري والترسيب بالحمام الكيميائي والترسيب بالليزر النبضي والترذيذ RF وتقنية السول-جل [10,11].

من بين كل هذه الطرائق يتم استخدام تقنية البخ الحراري spray pyrolysis بشكل واسع لتحضير أفلام رقيقة من أكسيد الكادميوم كونها طريقة بسيطة وتجهيزاتها أقل تكلفة بالمقارنة مع الطرائق الأخرى. يمكن أيضاً من خلالها أن يتم التحكم بعملية الاشابة بسهولة ويمكن الحصول على أفلام بنقاوة جيدة. بالإضافة إلى ما ذكر سابقاً، فإنها مرغوبة من وجهة نظر اقتصادية لأنها تستخدم المواد الكيميائية التجارية الأقل تكلفة، كما أنها تتم تحت شروط الضغط الجوي، أي بدون الحاجة لضغوط مختلفة [12].

**2 - أهداف البحث:**

يتميز أكسيد الكادميوم بمقاومة منخفضة وبالتالي يستخدم في العديد من التطبيقات الالكتروضوئية، لذا يهدف البحث إلى:

1 – تحضير أفلام رقيقة من أكسيد الكادميوم نقية ومشابة بالنحاس***.***

2 – دراسة الخصائص البنيوية للأفلام المحضرة.

3 - دراسة الخصائص الضوئية للأفلام المحضرة.

4 - تحضير مقاومات ضوئية من أفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس ودراسة سلوكها الالكتروضوئي (الميزة *I-V* في الظلام والإضاءة).

**3 - مواد وطرق البحث:**

**3 – 1 – الأجهزة والمواد المستخدمة:**

1 - جهاز ترسيب الطبقات الرقيقة مصنع محلياً يعتمد طريقة البخ *Spray pyrolysis* في الترسيب.

2 - جهاز انعراج الأشعة السينية (*PW 1840*) ذو مصعد من الكوبالت إنتاج شركة (*PHILIPS*) متصل مع حاسب مزود ببرنامج لمعالجة طيوف الانعراج.

3 - جهاز تنظيف الشرائح بالأمواج فوق الصوتية نوع *Transsonic* *T*700/*H*.

4 – جهاز السبيكتروفوتومتر نوع Jasco V-570 Double Beam موصول مع حاسوب.

5 - دارة كهربائية لقياس المميزة *I*-*V*.

6 - شرائح زجاجية ومواد كميائية نقية.

**3 – 2 - تحضير العينات :**

استخدمت ركائز من الزجاج العادي تم تنظيفها باستخدام تقنية الأمواج فوق الصوتية بوساطة الجهاز (*Transonic*-*T*700/*H*) ثم غسلت بحمض كلور الماء الممدد، بعد ذلك يتم غسلها بالكحول وبالماء المقطر بشكل جيد حتى الحصول على قطرة مستمرة على سطح الركيزة.

تم ترسيب أفلام رقيقة من *CdO* على هذه القواعد بتركيز 0.9*M* وذلك بحل كمية مناسبة من ملح خلات الكادميوم ذو الصيغة الكيميائية في خليط من الماء المقطر والإيتانول بنسبة 7:3. تم إضافة قطرات من حمض الخل لزيادة شفافية المحلول. تم حل كمية مناسبة من خلات النحاس في الماء المقطر والإيتانول أيضاً بنسبة 7:3 وبتركيز 0.9*M* وأضيفت إلى محلول خلات الكادميوم لإنجاز تركيز اشابة بالنحاس في المجال بخطوة .

وضعت الركائز في حجرة البخ على مسافة من فوهة البخ وبدأت عملية الترسيب باستخدام ضغط الهواء العادي وكانت درجة حرارة الركائز . قدرت السماكة الوسطية للأفلام المحضرة بحوالي . تم وضع اتصالات أومية من معجون الفضة على سطح الأفلام المحضرة لإجراء القياسات الكهربائية ومعرفة سلوكها الالكتروضوئي كمقاومة ضوئية.

**4 - النتائج والمناقشة**

**4 – 1 – الخصائص البنيوية**

تمت دراسة البنية البلورية لأفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس باستخدام تقنية انعراج الأشعة السينية XRD. يبين الشكل (1) أطياف انعراج الأشعة السينية لأفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس.



الشكل (1) طيف انعراج الأشعة السينية على أفلام أكسيد الكادميوم المحضرة النقية والمشابة بالنحاس.

تم تحديد قرائن ميلر لقمم الانعراج لأفلام أكسيد الكادميوم المحضرة بالمقارنة مع بنك المعلومات JCPDS (البطاقة 05-0640) وكانت على النحو الآتي : و و و. تتوافق جميع القيم الموجودة في طيف انعراج الأشعة السينية مع القمم العائدة لأكسيد الكادميوم. لم يلاحظ وجود أية قمم تعود لأطوار أخرى بالنسبة للأفلام النقية والمشابة، مما يؤكد على أن الاشابة بالنحاس ضمن هذا المجال لم تؤثر على البنية البلورية المكعبية لأكسيد الكادميوم. يدل هذا أيضاً على أن شوارد النحاس حلت في مواقع شوارد الكادميوم في البنية البلورية. نلاحظ من الشكل (1) أيضاً أن أفلام أكسيد الكادميوم المحضرة متعددة التبلور. تتبلور وفق بنية مكعبية متمركزة الوجوه وتنتمي للمجموعة الفراغية . وجد أن التوجه المفضل وفق الاتجاه [111] يزداد مع زيادة تركيز الاشابة بالنحاس مما يشير إلى تحسن تبلور الأفلام المشابة.

بالاستفادة من قياسات انعراج الأشعة السينية لأفلام أكسيد الكادميوم تم حساب البعد بين المستويات البلورية *d* من زوايا الانعراج عند كل خط طيفي باستخدام قانون براغ:

، حيث طول موجة الأشعة السينية و زاوية الانعراج. تم تعيين القيمة الوسطية لثابت الشبكة البلورية بالاستعانة بقيم *d* حيث يعطى البعد بين المستويات البلورية المتوازية في حالة البنية البلورية المكعبية بالعلاقة الآتية [13,14]:

(1)

حيث *a* ثابت الشبكة البلورية.

تم حساب حجم وحدة الخلية أيضاً الذي يعطى بالعلاقة:

(2)

يبين الجدول (1) قيم كل من و و*a* و*V* لأفلام أكسيد الكادميوم المحضرة النقية والمشابة بالنحاس بتراكيز مختلفة.

الجدول (1)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| تركيز الاشابة | (hkl) |  |  |  |  |
| 0 | (111) | 38.703 | 2.698 | 4.670 | 101.843 |
| (200) | 45.098 | 2.332 |
| (220) | 65.502 | 1.653 |
| (311) | 78.894 | 1.407 |
| 2 | (111) | 38.696 | 2.699 | 4.677 | 102.337 |
| (200) | 44.899 | 2.341 |
| (220) | 65.498 | 1.653 |
| (311) | 78.702 | 1.410 |
| 4 | (111) | 38.697 | 2.699 | 4.677 | 102.337 |
| (200) | 44.901 | 2.341 |
| (220) | 65.502 | 1.653 |
| (311) | 78.703 | 1.410 |
| 6 | (111) | 38.889 | 2.686 | 4.654 | 100.808 |
| (200) | 45.298 | 2.322 |
| (220) | 65.704 | 1.648 |
| (311) | 79.091 | 1.404 |

تم حساب حجم الحبيبات والانفعال للأفلام المحضرة باستخدام علاقة Williamson-Hall التي تعطى بالمعادلة الآتية [3,15]:

حيث طول موجة الأشعة السينية المستخدمة و زاوية براغ و*k* ثابت يساوي الواحد تقريباً و العرض عند منتصف الشدة العظمى بالراديان.

يمكن أن تستخدم المعادلة (3) لتحديد الانفعال وحجم الحبيبات برسم المنحني البياني لتغيرات بدلالة . يبين الشكل (2) المنحني البياني لتغيرات بدلالة لأفلام أكسيد الكادميوم المحضرة النقية والمشابة بالنحاس بتراكيز مختلفة.



الشكل (2) تغيرات بدلالة لأفلام أكسيد الكادميوم المحضرة النقية والمشابة بالنحاس بتراكيز مختلفة.

تم إجراء محاكاة خطية للبيانات لحساب الانفعال من ميل المنحني البياني لتغيرات بدلالة وحجم الحبيبات من التقاطع مع المحور . يبين الجدول (1) قيم حجم الحبيبات والانفعال المحسوبة كتابع لتركيز النحاس في أفلام أكسيد الكادميوم المحضرة.

الجدول (1)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| الانفعال | حجم الحبيبات البلورية | حجم وحدة الخلية | ثابت الشبكة البلورية | تركيز الاشابة  wt% |
| 14.3 | 30.69 | 101.84 | 4.670 | 0 |
| 3.13 | 29.33 | 102.34 | 4.677 | 2 |
| 2.15 | 28.44 | 102.33 | 4.677 | 4 |
| 0.678 | 27.11 | 100.81 | 4.654 | 6 |

يبين الشكل (3) تغيرات كل من حجم الحبيبات D والانفعال للأفلام المحضرة النقية والمشابة بالنحاس بتراكيز مختلفة.



الشكل (3) تغيرات كل من D و للأفلام المحضرة النقية والمشابة بالنحاس بتراكيز مختلفة.

نلاحظ من الشكل (3) أن حجم الحبيبات يتناقص مع زيادة تركيز النحاس. يمكن أن يعود هذا إلى اختلاف أنصاف الأقطار الشارية للنحاس والزنك والتي تكون و على الترتيب. بما أن نصف القطر الشاردي للنحاس أصغر من الكادميوم فإنه يمكن بسهولة أن ينتشر في الشبكة البلورية لأكسيد الكادميوم. لذلك يمكن أن يعزى التناقص الطفيف في حجم الحبيبات إلى تشوه البنية البلورية لأفلام أكسيد الكادميوم مع زيادة تركيز الاشابة بالنحاس وإلى زيادة الحدود الحبيبية التي تعمل كمراكز تشتت للحوامل. تمت ملاحظة نتائج مماثلة في الأعمال العلمية [16,17].

**4 – 2 - الخصائص الضوئية**

تم قياس أطياف النفوذية في مجال الطول الموجي باستخدام جهاز السبيكتروفوتومتر. يبين الشكل (4) أطياف النفوذية لأفلام أكسيد الكادميوم النقي والمشاب بالنحاس.



الشكل 4 أطياف النفوذية لأفلام أكسيد الكادميوم النقي والمشاب بالنحاس.

نلاحظ من الشكل (4) أن حافة الامتصاص تنزاح باتجاه الأمواج الطويلة، مما يشير إلى أن طاقة المجال المحظور تتناقص مع زيادة تركيز النحاس.

تم تحديد طاقة المجال لأفلام أكسيد الكادميوم النقي والمشاب بالنحاس باستخدام علاقة Tauc [18,19,20]:

(4)

حيث *A* و*n* ثوابت و معامل الامتصاص و طاقة الفوتون الساقط و طاقة المجال المحظور. بالنسبة للانتقالات المباشر فإن قيمة *n* تكون ، بينما بالنسبة للانتقالات غير المباشرة فإن قيمة *n* تكون 2.

تم تحديد المجال المحظور بتمديد الجزء الخطي للمنحني البياني لتغيرات بدلالة إلى والذي يعطي قيمة المجال المحظور المباشر. يبين الشكل (5) تغيرات بدلالة لأفلام أكسيد الكادميوم النقي والمشاب بالنحاس.



الشكل (5) المنحني البياني تغيرات بدلالة لأفلام أكسيد الكادميوم النقي والمشاب بالنحاس.

تم استقراء قيم المجال المحظور من الشكل (5). يبين الجدول (2) قيم طاقة المجال المحظور لأفلام أكسيد الكادميوم النقي والمشاب بالنحاس.

الجدول (2)

|  |  |
| --- | --- |
|  | تركيز الاشابة wt% |
| 2.37 | 0 |
| 2.25 | 2 |
| 2.28 | 4 |
| 2.30 | 6 |

يبين الشكل (6) تغيرات قيم طاقة المجال المحظور لأفلام أكسيد الكادميوم المحضرة بدلالة تركيز الاشابة بالنحاس.



الشكل (6) تغيرات قيم طاقة المجال المحظور بدلالة تركيز الاشابة بالنحاس.

نلاحظ من الشكل (6) أن قيم طاقة المجال المحظور للأفلام المشابة بالنحاس تكون أقل منها للأفلام النقية. يمكن أن يعزى الانزياح باتجاه الأحمر إلى تشكل سويات طاقية جديدة بداخل المجال المحظور نتيجة الاشابة بالنحاس. يمكن أن يعزى التناقص في المجال المحظور مع زيادة تركيز النحاس حتى التركيز 2wt% إلى التشوه البنيوي في أفلام أكسيد الكادميوم إما نتيجة تواجد استبدال شوارد النحاس بشوارد الكادميوم في المواقع الأصلية في الشبكة البلورية لأكسيد الكادميوم أو تواجد شوارد النحاس في مواقع حشوية بسبب اختلاف أنصاف الأقطار الأيونية. تمت ملاحظة سلوك مماثل في العمل العلمي عند إشابة أفلام أكسيد الكادميوم بالمنغنيز [16].

**4 – 3 – الخصائص الكهربائية والالكتروضوئية**

تمت دراسة تغيرات المقاومة الكهربائية للأفلام المحضرة كتابع لدرجة الحرارة ضمن المجال الحراري . تناقصت قيم المقاومة الكهربائية لجميع الأفلام المحضرة بزيادة درجة الحرارة، مما يشير إلى سلوك نصف ناقل.

للحصول على طاقة التنشيط للأفلام المحضرة تم تحليل المعطيات التجريبية للمقاومة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة باستخدام العلاقة [1,21,22]:

حيث طاقة التنشيط ودرجة الحرارة المطلقة و ثابت بولتزمان. يبين الشكل (7) تغيرات كتابع لـ للأفلام النقية والمشابة بالنحاس بتراكيز مختلفة.



الشكل (7) تغيرات كتابع لـ للأفلام النقية والمشابة بالنحاس بتراكيز مختلفة.

تم حساب قيم طاقة التنشيط من ميل المنحنيات البيانية لتغيرات بدلالة . قيم طاقة التنشيط بدلالة تركيز الاشابة مبينة في الجدول (3).

الجدول (3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | Cu concentration wt% |
| 29.49 | 40.96 | 0.047 | 0 |
| 27.33 | 28.15 | 0.072 | 2 |
| 22.04 | 22.86 | 0.068 | 4 |
| 24.94 | 26.35 | 0.023 | 6 |

تكون قيم طاقة التنشيط منخفضة. يمكن أن تترافق قيم طاقة التنشيط المنخفضة هذه مع آلية قفز حوامل الشحنة بين السويات المتموضعة في المجال المحظور ويتوافق هذا مع العمل العلمي [23].

لدراسة السلوك الالكتروضوئي للأفلام المحضرة ككواشف ناقلة ضوئية photoconductive detectors (مقاومات ضوئية) تم قياس المميزة *I*-*V* لأفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس عند درجة حرارة الغرفة في الظلام وعند تعريضها لضوء فوق بنفسجي. يبين الشكل (8) المميزة *I*-*V* لأفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس عند درجة حرارة الغرفة في الظلام.



الشكل (8) المميزة *I*-*V* لأفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس في الظلام.

يبين الشكل (9) المميزة *I*-*V* لأفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس عند درجة حرارة الغرفة في حالة الإضاءة بضوء فوق بنفسجي.



الشكل (9) المميزة *I*-*V* لأفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس عند درجة حرارة الغرفة في حالة الإضاءة بضوء فوق بنفسجي.

نلاحظ من الشكلين (8) و(9) أن المنحنيات *I*-*V* للكواشف الناقلة الضوئية تكون خطية والذي يؤكد سلوكها الأومي في حالتي الظلام والإضاءة.

للحصول على المقاومات في حالتي الظلام والإضاءة تم تحليل المميزات *I*-*V* للكواشف الناقلة الضوئية بمحاكاة خطية. قيم المقاومات التي تم الحصول عليها من المحاكاة الخطية للمنحنيات البيانية لأفلام أكسيد الكادميوم النقية والمشابة بالنحاس في حالتي الظلام والإضاءة مبينة في الجدول (3). وجد أن المقاومات في حالتي الظلام والإضاءة تتناقص مع زيادة تركيز الاشابة بالنحاس حتى التركيز 4 wt%.

**5 - الاستنتاجات والتوصيات**

1 – تم الحصول على أفلام من أكسيد الكادميوم نقية ومشابة بالنحاس لاستخدامها ككواشف ناقلة ضوئية باستخدام طريقة البخ الحراري ذات الكلفة الاقتصادية المنخفضة بالمقارنة مع الطرائق الأخرى المستخدمة في تحضير الأكاسيد الشفافة.

2 – بينت دراسة XRD أن الأفلام المحضرة تتبلور وفق بنية مكعبية متمركزة الوجوه وتنتمي للمجموعة الفراغية .

3 - تناقص حجم الحبيبات البلورية مع زيادة تركيز الاشابة بالنحاس.

4 – كانت قيم طاقة المجال المحظور للأفلام المشابة بالنحاس أقل منها للأفلام النقية بسبب تشكل سويات طاقية جديدة بداخل المجال المحظور نتيجة الاشابة بالنحاس.

5 - تناقصت قيم المقاومة الكهربائية لجميع الأفلام المحضرة بزيادة درجة الحرارة، مما يشير إلى سلوك نصف ناقل.

6 – تشير القيم المنخفضة لطاقة التنشيط التي تم الحصول عليها من محاكاة النتائج التجريبية بدلالة لجميع العينات المحضرة إلى أن آلية قفز حوامل الشحنة تتم بين السويات المتموضعة في المجال المحظور نتيجة الاشابة بالنحاس.

7 – أكدت المنحنيات *I*-*V* للكواشف الناقلة الضوئية الخطية السلوك الأومي في حالتي الظلام والإضاءة.

8 – تناقصت قيم المقاومات في حالتي الظلام والإضاءة مع زيادة تركيز الاشابة بالنحاس حتى التركيز 4 wt%.

**نوصي بـ** :

1 – دراسة تأثير اشابة أفلام أكسيد الكادميوم بعناصر أخرى لتحسين خصائصها.

2 – استخدام المقاومات الضوئية التي تم الحصول عليها في تطبيقات الدارات الالكترونية.

**6 - المراجع**

[1] M.R. DAS, A. Mukherjee, P. Mitra. (2017) Structural, optical and electrical characterization of CBD synthesized CdO thin films: influence of deposition time, **Materials Science-Poland**, **35** 470-478.

[2] K. Usharani, A.R.Balu, V.S.Nagarethinam, M.Suganya. (2015) Characteristic analysis on the physical properties of nanostructured Mg-doped CdO thin films—Doping concentration effect, ***Progress in Natural Science: Materials International*** **25**  251–257.

[3] Renu Kumari, Vipin Kumar. (2019) Impact of zinc doping on structural, optical, and electrical properties of CdO films prepared by sol–gel screen printing mechanism, **Journal of Sol-Gel Science and Technology**.

[4] Hakan C- olakn, OrhanT urkoglu. (2013) Structural and electrical studies of Cu-doped CdO prepared by solid state reaction, ***Materials Science in Semiconductor Processing*** **16** 712–717.

[5] Sibel MORKOÇ, KARADENİZ. (2019) Effect of Molar Concentration on Structural, Morphological and Optical Properties of CdO Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Method, **Journal of the Institute of Science and Technology**, **9** 47-854.

[6] S. Ahmed, M. S. I. Sarker, M. M. Rahman, M. Kamruzzaman, M. K. R. Khan. (2018) Effect of yttrium(Y) on structural, morphological and transport properties of CdO thin films prepared by spray pyrolysis technique**, Elsevier Ltd** **4** e00740.

[7] M. R. Alam · M. Mozibur Rahman · A. M. M. Tanveer Karim · M. K. R. Khan, (2018) Effect of Ag incorporation on structural and opto‑electric properties of pyrolized CdO thin films, **International Nano Letters** **8** 287–295.

[8] Usharani K, Balu AR, Nagarethinam VS. (2015) Characteristic analysis of Zn–doped CdO thin films – doping concentration effect, **Indian journal of Science**, **13** 42-47.

[9] I.S. Yahiab, G.F. Salem, Javed Iqbal, F. Yakuphanoglu. (2017) Linear and nonlinear optical discussions of nanostructured Zn-doped CdO thin films, **Physica B** **511** 54–60.

[10] B G Jeyaprakash, K Kesavan, R Ashok Kumar, S Mohan and A Amalarani. (2011) Temperature dependent grain-size and microstrain of CdO thin films prepared by spray pyrolysis method, **Bull. Mater. Sci.**, **34** 601–605.

[11] Campos-Gonzalez E., Guillén-Cervantes A., Santoyo-Salazar J., Zelaya-Angel O. (2015) Growth of CdO films from CdO2 films by chemical bath deposition: Influence of the concentration of cadmium precursor, **Superficies y Vacío** **28** 25-29.

[12] M. Anitha, V. Tamilnayagam, N. Anitha, Tamiloli Devendhiran, Keerthika Kumarasamy, Vasudevan Thangaraj, Kannagi Devendhiran and L. Amalraj. (2018) Influence of Carrier Gas Pressure on the Physical Properties of CdO **Thin Films, Z. Phys. Chem**.

[13] G. Shanmugavel, A.R. Balu, V.S. Nagarethinam. (2014) Preparation of Cadmium Oxide Thin Films by Spray Technique using Perfume Atomizer and Effect of Solvent Volume on their Physical Properties, **International Journal of Chemistry and Materials Research**, **2** 88-101.

[14] K. Usharani A. R. Balu. (2014) Structural, Optical, and Electrical Properties of Zn-Doped CdO Thin Films Fabricated by a Simplified Spray Pyrolysis Technique, **Acta Metall. Sin.** (Engl. Lett.).

[15] Ninet M. Ahmed, Hassan H. Afify and Fatma M. Ibrahim. (2018) Aluminum Incorporation Impacts on Some Physical Properties of Pure CdO Film Synthesized by Spray Pyrolysis, **International Journal of Nanoelectronics and Materials** **11** 195‐210.

[16] N. Manjula, M. Pugalenthi, V.S. Nagarethinam, K. Usharani, A.R. Balu. (2015) Effect of doping concentration on the structural, morphological, optical and electrical properties of Mn-doped CdO thin films, **Materials Science-Poland**, **33** 774-781.

[17] Gurunath Jadhav, Sanjay Sahare, Dipti Desai, Tejashree M. Bhave, S.N. Kale and Ravi Kant Choubey. (2016) Effect of Copper Doping on Physical Properties of Cadmium Oxide Thin Films, **Springer Proceedings in Physics 178**.

[18] A.C. Nwanya, Cosmas Chigbo, S.C. Ezugwu, R.U. Osuji, Maaza Malik, F.I. Ezema. (2016) Transformation of cadmium hydroxide to cadmium oxide thin films synthesized by SILAR deposition process: Role of varying deposition cycles, **Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences** **20** 49–54.

[19] Ngamnit Wongcharoen, Thitinai Gaewdang and Tiparatana Wongcharoen. (2012) Electrical Properties of Al-Doped CdO Thin Films Prepared by Thermal Evaporation in Vacuum, **Energy Procedia** **15** 361 – 370.

[20] Abdul-Hussein K. Elttayef, Hayder M. Ajeel, Ausama I. Khudiar. (2013) Effect of annealing temperature and doping with Cu on physical properties of cadmium oxide thin films, **j mater res technol.** **2** 182–187.

[21] A. U. Ubale, S. S. Wadnerkar, P. N. Sononeand G. D. Tayade. (2014) Study of structural, optical and electrical properties of CdO thin film deposited by sol-gel spin coating technique, **Archives of Physics Research**, **5** 43-48.

[22] V.P. Deshpande1, S. D. Sartale2, A.U. Ubale. (2016) Synthesis of Low Resistive Transparent Nano-crystalline Cadmium Oxide Thin Films by Chemical Route. **Archives of Physics Research**, **7** 1-11.

[23] M. M. Islam, M. R. Islam and J. Podder. (2009) Optical and Electrical Characteristics of CdO Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis Method, Journal of Bangladesh Academy of Sciences·