

## تحضير نافذة بصرية للأشعة تحت الحمراء

د.محمد راضي محمد\* د.جورج موشي صامونيل\* و د.فرح عامر عبد\*

تاريخ الاستلام: 2009/4/27

تاريخ القبول: 2011/2/3

## الخلاصة

تم ترسيب مادة اوكسيد الايتريوم ( $Y_2O_3$ ) على ارضية اساس من مادة سيلينييد الخارصين ( $ZnSe$ ) للحصول على نافذة بصرية للأشعة تحت الحمراء المتوسطة للمدى  $(8-12)\mu m$ . كذلك تم دراسة تأثير فولتية التعجيل على النفاذية البصرية للنفاذة والتي لها تأثير مهم في السيطرة على النوعية البصرية للاغشية. وقد وجد بان افضل نفاذية بصرية لاغشية ( $Y_2O_3$ ) المحضرة على ارضيات اساس من ( $ZnSe$ ) بسمك ربع طول موجة التصميم ( $10\mu m$ ) كانت عند تسليط فولتية تعجيل مقدارها  $5kv$ , حيث وصلت الى حوالي (98%).

## Fabrication of Infrared Optical Window

## Abstract

An optical window for mid infrared region  $(8-12)\mu m$  has been fabricated by depositing Yttrium oxide ( $Y_2O_3$ ) on zinc selenide ( $ZnSe$ ) substrate.

The effect of accelerating voltages has been studied in order to control the quality of the thin film.

It has been found that the best transmission of ( $Y_2O_3$ ) thin film on  $ZnSe$  substrate is about 98% when an accelerating voltage of 5kv has been applied, for thin film thickness of quarter of design wavelength ( $10\mu m$ ).

## المقدمة

بها), والتي تتولد على سطوح المكونات البصرية وبالتالي تقليل خسائر الطاقة [2]. تتكون هذه الطلاءات من طبقة عازلة او من معدن او من خليط من مواد عازلة ترسب على ارضيات اساس من مواد عازلة او معدن [3].

ويمكن استخدام هذه الطلاءات في الكثير من اجهزة ومقاييس الاشعة تحت الحمراء مثل كاميرات المسح الجوي والمجسات والكواشف والخلايا الشمسية وانظمة التصوير الحراري وغيرها [4].

فعند ترسيب المادة العازلة على ارضية اساس بطبقة مفردة فأن:  $Y=C/B$  تمثل السماحية البصرية الداخلة (input optical admittance) وتعطى بالصيغة التالية [5]:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} =$$

اتخذت المرشحات البصرية مكانه متميزة في ميادين العلوم والتكنولوجيا نظرا لقدرتها على التحكم بالاشعة الكهرومغناطيسية ولمدى من الطيف يمتد من المنطقة الاشعة السينية وحتى منطقة الاشعة تحت الحمراء البعيدة [1].

وتعد النوافذ البصرية من المكونات الرئيسية التي تدخل في تركيب معظم الاجهزة البصرية وتستخدم للمحافظة على المحتويات الداخلية للجهاز وكمرشح بصري في المنطقة الطيفية التي يعمل بها الجهاز.

ان معظم اجهزة الاشعة تحت الحمراء تستخدم فيها مواد بصرية ذات معاملات انكسار عالية، لذلك فان سطوح هذه العناصر يجب ان تكسى بطلاءات مضادة للانعكاس لتقليل خسائر الانعكاسية (غير المرغوب

(Absentee Layer) عليه بمصطلح الطبقة الغائبة [6].

مما سبق يلاحظ ان الانعكاسية تكون عظمى او صغرى اعتمادا على كون  $(n_s - n_1)$  اعظم ام اصغر ما يمكن [4].

$$R_{\text{coated}} < R_{\text{uncoated}} \text{ for } n_o \leq n_1 \leq n_s$$

$$R_{\text{coated}} = 0 \text{ for } n_1 = \sqrt{n_o n_s}$$

في هذا البحث سيتم تحضير نافذة بصرية للاشعة تحت الحمراء المتوسطة واجراء القياسات الخاصة بتحسين نفاذيتها. الاجهزه والمواد المستخدمة وطريقة تحضير النافذة

تم اختيار مادة الارضية الاساس وفقا لعدة عوامل منها منطقة الطول الموجي الذي تعمل به هذه الارضية وامتلاكها امتصاصية واطنة والسمية وسهولة التعامل معها [7]. ولذلك تم اختيار مادة سيلينيد الخارصين (ZnSe) والتي بسبب معامل انكسارها العالي ( $n=2.41$ ) تتطلب طلاء مضادا للانعكاس [7].

تم تهيئة الارضيات لعمليات الترسيب وذلك بتنظيفها على ثلاث مراحل: مرحلة الصقل ومرحلة التنظيف بجهاز الموجات فوق الصوتية ومرحلة التنظيف بالتوهج الوميضي قبل البدء بعملية الترسيب تحت ضغط لا يتجاوز ( $10^{-2}$  m bar) ولمدة عشر دقائق وبوجود غاز الاركون.

تم اختيار مادة اوكسيد الايتريوم ( $Y_2O_3$ ) كطلاء للارضية الاساس (ZnSe) لامتلاكها عدة مواصفات، منها كون معامل انكسارها المتوسط ( $n=1.42$ ) وامتصاصيتها الواطنة ضمن المدى ( $0.3-12\mu\text{m}$ ) وذات التصاقية جيدة على ارضيات مثل الجرمانيوم وسيلينيد الخارصين [7].

وقد تم تحضير مادة الطلاء لعملية الترسيب بشكل اقراص مكبوسة لغرض السيطرة على عملية الترسيب ومنع انتشار المادة داخل حجرة الطلاء وعلى مرحلتين:

الاولى الكبس وعملية الحرق بدرجة ( $1000^\circ\text{C}$ ). وقد استخدمت في ترسيب مادة الطلاء منظومة تبخير من نوع (Q700A) مجهزة من شركة لايبولد - هيروس الالمانية

$$\begin{bmatrix} \cos\delta_1 & i \sin\delta_1 \\ in_1 \cos\delta_1 & \cos\delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ n_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta_1 + i \frac{n_s}{n_1} \sin\delta_1 \\ n_s \cos\delta_1 + in_1 \sin\delta_1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

تمثل كل من  $n_o$ ،  $n_s$ ،  $n_1$  في هذه المعادلة والمعادلات اللاحقة معاملات انكسار الغشاء الرقيق، القاعدة، الهواء وعلى التوالي، حيث ان  $\delta_1 = 2\pi n_1 d_1 / \lambda$  عند السقوط العمودي.

بينما B, C مقادير تعتمد على قيم كل من المركبات الكهربائية والمغناطيسية المماسية للاشعاع الداخلة والخارج من المنظومة (الغشاء + القاعدة).

فعندما يكون السمك البصري ( $n_1 d_1$ ) يساوي ربع طول موجة التصميم، حيث  $d_1$  يمثل سمك الطلاء فان:

$$n_1 d_1 = m \frac{\lambda}{4}$$

حيث ان m: عدد صحيح فردي.

وعليه تكون الانعكاسية [4] :-

$$R = \frac{(n_o - n_s)^2 \cos^2 \delta_1 + \left[ \frac{n_o n_s}{n_1} - n_1 \right]^2 \sin^2 \delta_1}{(n_o - n_s)^2 \cos^2 \delta_1 + \left[ \frac{n_o n_s}{n_1} + n_1 \right]^2 \sin^2 \delta_1} \dots\dots\dots (2)$$

اي يكون:

$$\delta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots\dots\dots$$

$$n_1 d_1 = \frac{\lambda_o}{4}, \frac{3\lambda_o}{4}, \dots\dots\dots$$

وعندما يكون السمك البصري نصف طول موجة التصميم فان:

$$n_1 d_1 = m \frac{\lambda_o}{2}$$

وتكون الانعكاسية [5] :-

$$R = \left[ \frac{n_s - n_o}{n_s + n_o} \right]^2 \dots\dots\dots (3)$$

حيث ان:

$$\delta = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots\dots\dots$$

ان الطلاء في هذه الحالة يتبع سلوكية الارضية الاساس غير المطلية وهو ما يطلق

(mbar) ولمدة عشر دقائق حيث يلاحظ بأن النفاذية قد ازدادت حوالي 93% ولفولتية تعجيل مقدارها 3kv كما موضح في الشكل (3) وهذا نتيجة لزيادة الطاقة الحركية للذرات وبذلك تزداد المقاومة الحرارية للغشاء ومثانة التصاقه بالارضية الاساس [9,10].

وعند زيادة الفولتية الى حوالي 5kv نلاحظ زيادة النفاذية الى 98% عند نفس الطول الموجي ويعزى هذا الى ان زيادة الفولتية يمنح الذرات الطاقة الحركية اللازمة لاعادة ترتيب ذرات الغشاء في الشبيكة البلورية [11] كما مبين في الشكل (4).

اما عند الفولتية 7kv فتم ملاحظة سلوكا مختلفا , اذ حصل انخفاض بالنفاذية تصل الى حوالي 96% عند الطول الموجي 10µm وكذلك حصول انحراف نحو الأطوال الموجية القصيرة ويعزى سبب ذلك الى نشوء ما يسمى بالنمط الاسود او الرسم الاسود (Black pattern) [9] الذي يتكون نتيجة تراكم الشحنات الايونية بسبب التفريغ على الارضية الاساس وكذلك حصول حفر للغشاء الذي يزيد من خشونة السطح وتقليل النفاذية كما موضح بالشكل (5). والنمط الاسود يكون على شكل اثار توهجية (Discharge tracking), يبدأ بالنمو عند زيادة الفولتية [11].

اما الشكل (6) يوضح العلاقة بين النفاذية البصرية للطول الموجي 10µm وفولتية التعجيل, حيث يلاحظ زيادة بالنفاذية البصرية بازدياد فولتية التعجيل ولغاية 5kv, بعدها تبدأ النفاذية بالنقصان كما تم ملاحظته عند فولتية تعجيل مقدارها 8kv.

#### الاستنتاجات

يمكن اعتبار مادة اوكسيد الايتريوم  $Y_2O_3$  (معامل انكسارها  $n=1.42$ ) المرسبة على ارضية اساس من سيلينيد الخارصين ZnSe (معامل انكسارها  $n=2.41$ ) كافضل طلاء مضاد للانعكاس لطبقة مفردة عند طول موجة التصميم ( $\lambda_0=10\mu m$ ).

كما وان افضل نفاذية بصرية تم الحصول عليها هي لغشاء ( $Y_2O_3$ ) المحضر على ارضية اساس من ZnSe حيث كانت 98% عند تسليط فولتية تعجيل 5kv للمدى الطيفي (8-12µm).

. وقد تم التأكد من معايرة المرقاب البلوري المستخدم لقياس سمك الغشاء قبل البدء بعملية الترسيب حيث تتم عملية المعايرة بمقارنة سمك الغشاء المقاس بالمرقاب البلوري مع السمك المقاس باستخدام طريقة تداخل اهداب فيزرو. تم ترسيب النموذج بمعدل ترسيب ( $2A^\circ/sec$ ) وبدرجة حرارة للارضية الاساس لا تتجاوز ( $70^\circ C$ ) بعد تعليقها على حامل دوار ذي سرعة دوران مقدارها (20 دورة / دقيقة).

وقد تم تشجيع النماذج بفولتية تعجيل مختلفة وبوجود غاز الاركون وبضغط ( $6 \times 10^{-2}$  m bar) لمدة عشر دقائق لكل حالة بعد الانتهاء من عملية الترسيب وكانت الفولتية المستخدمة 7kv, 5kv, 3kv. واخيرا تم قياس النفاذية للنافذة البصرية ( $ZnSe$ ) والمحصرة عليها طلاء مضادا للانعكاس من مادة ( $Y_2O_3$ ) باستخدام FTIR الاحادي الحزمة والمصنع من شركة Perkin-Elmer الالمانية موديل 7200x.

#### النتائج والمناقشة

الشكل (1) يمثل النفاذية الطيفية لارضيات ZnSe قبل عملية الطلاء , حيث كانت تصل الى حوالي 60% عند الطول الموجي 10µm وهي قيمة مقاربة للقيمة القياسية لهذه الارضيات [8].

اما الشكل (2) فيمثل النفاذية البصرية لارضيات اساس من مادة سيلينيد الخارصين ( $ZnSe$ ) المحصورة عليها طبقة من مادة اوكسيد اليتريوم ( $Y_2O_3$ ) بسمك ربع طول موجة التصميم 10µm ضمن المدى الطيفي (8-12µm).

حيث يلاحظ من الشكل (2) ان النفاذية للنافذة قد ازدادت من 60% الى حوالي 87.8% عند طول موجة التصميم 10µm.

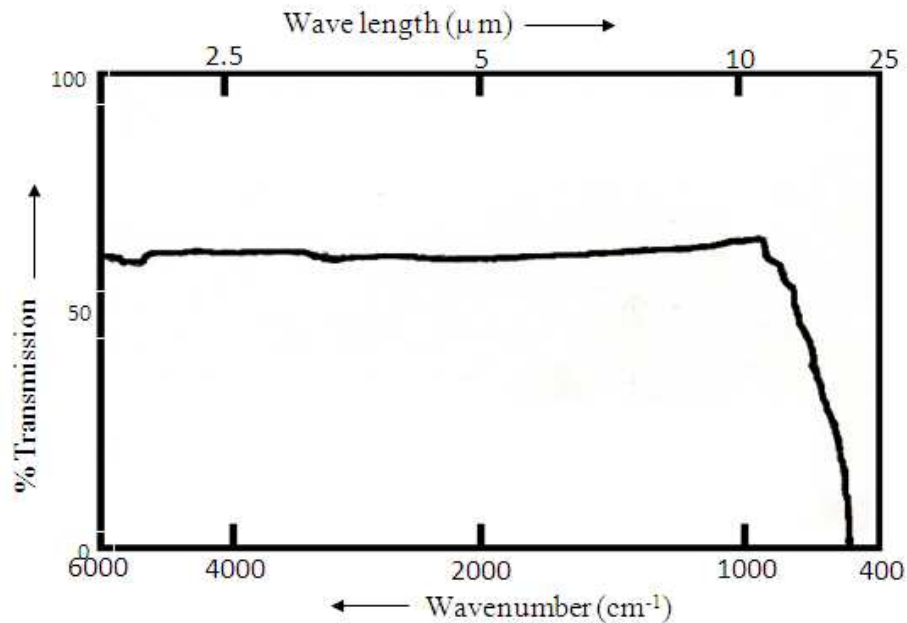
ويرجع السبب في عدم الحصول على نفاذية بصرية قياسية هو وجود خطأ قياسي في معلومات عملية الترسيب او سمك الغشاء او الى الفرق الطبيعي بين قيمة معامل الانكسار العملي ومعامل الانكسار النظري وليس بسبب اختيار المواد المستخدمة .

كما وتم قياس النفاذية للعينات بعد تسليط الفولتيات (7 kv, 5 kv, 3 kv) بوجود ايونات غاز الاركون تحت ضغط ( $6 \times 10^{-2}$  m bar).

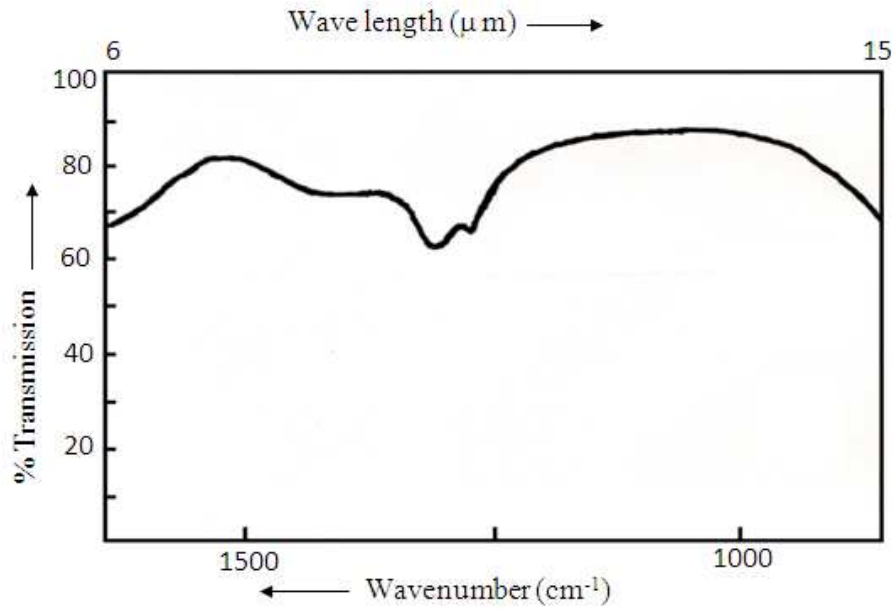
- [7]. A. Macleod, "Thin Film Optical Filters" Mc Graw-Hill, Newyork (1986).
- [8]. C. L. Nagendra, M. Viswanathan, and G. K. Thutupalli, "Design and optimization of low-loss wide band anti-reflection coating for the visible and infrared regions: a new method" Appl. opt. Vol. 14, pp. 1156(1985).
- [9]. LiLi, J. A. Dobrowolski, sankey and Wimperis, "ARC<sub>s</sub> for both visible and FIR. spectral regions", Appl. opt. Vol. 31, pp. 651(1992).
- [10]. J. Hawkins, Applied optics, vol. 40, pp. 514(2001).
- [11]. I. Lubezky and I. Szafranek, "AR DESING: an efficient coating for germanium in the 7.5-11.5 $\mu$ m region", Appl. opt. Vol. 28, pp. 515(1989).

المصادر

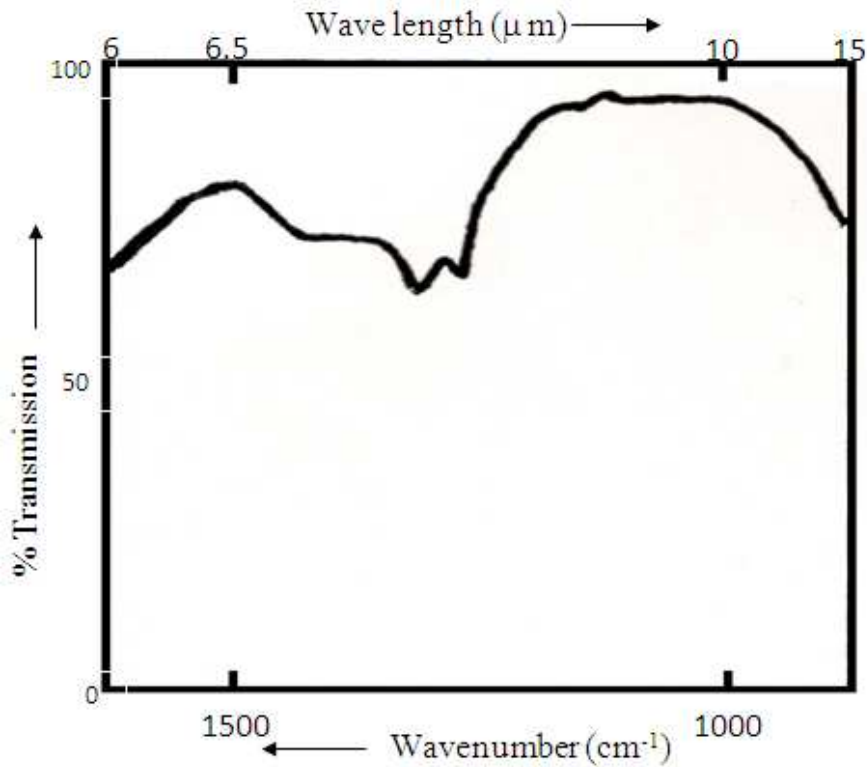
- [1]. J. Hawkins, Infrared physics and Technology, Vol. 39, 74(2000).
- [2]. J. A. Dobrowolski, "Computer design of optical coating" Thinsolid film, Vol. 163, pp. 97-110, (1988).
- [3]. Hermann R. Dobler, "Infrared coating", Applied optics, Vol. 28, pp. 234-237, (1988).
- [4]. James D. Rancourt, "Optical thin film: user's Hand book" Macmillan publishing Company, Newyork, (1987).
- [5]. C. L. Nagendra and G.K.M. Thutupalli, "Single and double layer anti-reflection coating for application in the (15 $\mu$ m)" vacuum, Vol. 31, pp. 240(1980).
- [6]. H. K. Pulker, "Characterization of optical thin film" Appl. opt. Vol. 18, pp. 1969-1977, (1979).



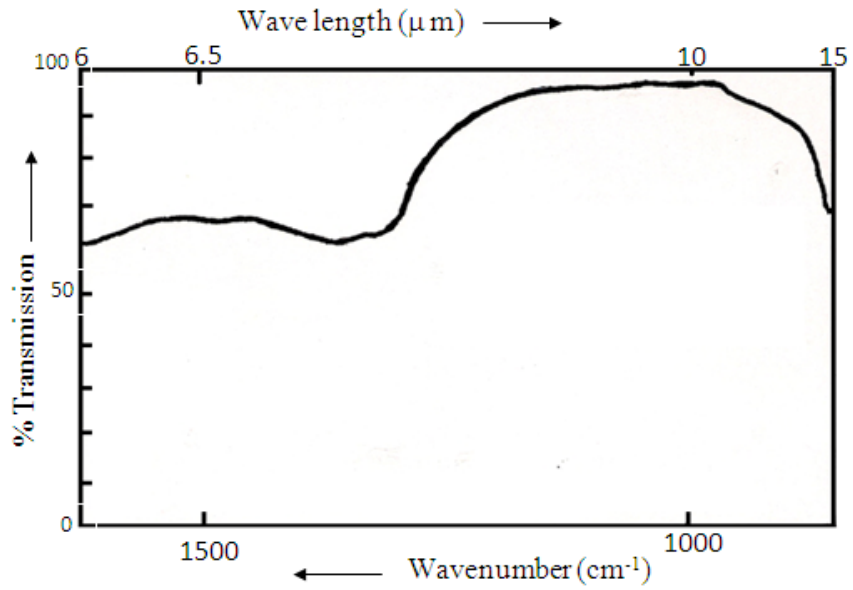
الشكل (1) يوضح طيف النفاذية للأشعة تحت الحمراء الأساس قبل عملية



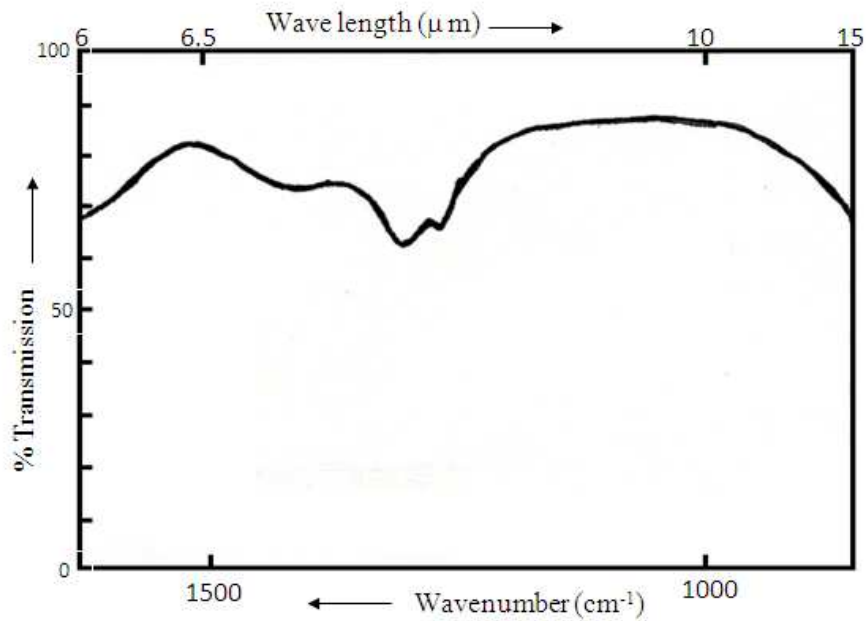
الشكل (2) طيف النفاذية البصرية لأرضيات أساس من مادة ZnSe محضر عليها طبقة من مادة Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> للمدى الطيفي (8-12μm).



الشكل (3) يوضح طيف النفاذية للنفاذة عند فولتية التمجيد 3kv.



الشكل (4) يوضح طيف النفاذية للنفاذة عند فولتية التجميع 5kv.



الشكل (5) يوضح طيف النفاذية للنفاذة عند فولتية التجميع 7kv.