وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية
كلية العلوم
قسم الكيمياء

Ministray of Higher Education
&Scietific Research
University of AL-Qadisiyah
college of Science
Department of Chmistry

الاغشية الرقيقة

بحث مقدم الى مجلس كلية العلوم/قسم الكيمياء كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علوم الكيمياء

من قبل الطالبين

الاسم الاول **الاسم الثاني**

الاسم الثالث

بأشراف

الاستاذ المساعد

احمد كاظم الحسناوي

٢٠١٧م **١٤٣٨هـ**

الإهـــــــــــــــــــداء

إلى من جرع الكأس فارغاً ليسقيني قطرة حب

إلى مـــــن كلّت أنامله لـــــــيقدم لنـــــا لحظة سعادة

إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم

والـــــــدي العزيز

إلى مـــــن أرضعتني الحب والحنان

إلى رمـــــــــز الحب وبلسم الشفـــــــــــــاء

إلى القلب الناصع بالبياض والدتي الحبيبة

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة إلى رياحين حياتي إخوتي

إلى الأجساد التي سكنت تحت تراب الوطن الحبيب المعفرة بدماء الشهادة

الآن تفتح الأشرعة وترفع المرساة لتنطلق السفينة في عرض بحر واسع مظلم هو بحر الحياة وفي هذه الظلمة لا يضيء إلا قنديل الذكريات ذكريات الأخوة البعيدة إلى الذين أحببتهم وأحبوني أصدقائي

إلى الذين بذلوا كل جهدٍ وعطاء لكي أصل إلى هذه اللحظة أساتذتي الكرام ولا سيما

الاستاذ المساعد **احمد كاظم الحسناوي**

إليكم جميعاً أهدي هذا العمل

لا يسعنا بعد الانتهاء من اعداد هذا البحث الا ان اتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان الى استاذي الفاضل

الاستاذ المساعد

احمد كاظم الحسناوي

الذي تفضل بالاشراف على هذا البحث , حيث قدم لي كل النصح والارشـــــاد طيلة فترة الاعـــداد فله مني كـــل الشـــكر والتقدير.....

الاغشية الرقيقة

نبذه تأريخية...

يصف مصطلح الغشاء الرقيق طبقه واحدة او عدة طبقات من ذرات الماده لايتجاوز سمكها المايكرون الواحد.استعملت الأغشية الرقيقة منذ أكثر من نصف قرن في عمل النبائط الالكترونية والفوتو فولتائيه ومختلف التطبيقات البصرية وهي ما زالت تتطور يوميا . حيث أن تقنية الأغشية الرقيقة تعتبر تقنية قديمة لكنها بنفس الوقت تعتبر المفتاح الحالي لتقنية الكثير من المواد وهناك مجلدات عديدة خاصة بالأغشية الرقيقة منها كتيب العالمين (Massiel and Glay) منذ أكثر من ثلاثين سنة .

ومن الخواص الأساسية الأغشية الرقيقة هيالتركيب البلوري للأغشيه ,سمك الأغشية وغيرها من الخصائص والمميزات التي لا تتوفر في المادة بشكلها ألحجمي وتركيب الأغشية يعتمد على تقنية التحضير وتكون على هيئة أغشية عشوائية و متعددة البلورات أو أغشية أحادية البلورة (Single crystal) كما إن خواصها الكهربائية والبصرية تتغير اعتمادا على البنية البلورية ووجود أو عدم وجود الشوائب وبصوره عامة فأن الأغشية الرقيقة تنتمي إلى الحالة الصلبه لذلك فمن الممكن تقسيم هذه المواد تبعاً لتركيبها البلوري أو لترتيب ذراتها .

وكذلك يستعمل مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة ، أو طبقات عديدة (Layers) من ذرات المادة لا يتعدى سمكها مايكرومتر واحد ، أو عدة نانومترات ، ولأنها رقيقة ، وهشة (سهلة الكسر) يجب ترسيبها على مادة صلبة مثل الزجاج ، أو السليكون ، أو بعض الأملاح ، أو البوليميرات ، تمتلك الأغشية الرقيقة خصائص ، ومميزات لا تكون متوافرة في تراكيب المواد الأخرى، فحقيقة سمكها المتناهي في الصغر وكبر نسبة السطح إلى الحجم منحتها تركيباً فيزيائياً فريداً يضاهي تركيب أحادية البلورة أحياناً ، ويفوقها أحياناً أخرى ، وتتمتع الأغشية بخصائص فيزياوية تختلف عن خصائص المواد المكونة لها وهي في حالتها الحجمية (Bulk) ، وتعد أمكانية تحضير أكثر المواد الصلبة على هيئة أغشية رقيقة أحدى التقنيات المهمة للحصول على صفات جديدة للمواد التي يصعب مشاهدتها وتحسسها عندما تكون بشكلها الكتلوي الطبيعي ، بدأ العمل في مجال تحضير الأغشية الرقيقة منتصف القرن التاسع عشر ، ففي العام 1852 توصل كلاً من بنزن وگروف Bunsen and Grove إلى تحضير أغشية رقيقة باستخدام تقنية التفاعل الكيميائي Chemical reaction وكذلك بتقنية الترذيذ بالتفريغ ألتوهجي Glow-discharge sputtering ، ولقد مرت تقنية الأغشية الرقيقة بمراحل تطور سريعة نتيجة لتمييزها بخصائص أساسية مثل الدقة والتقلص في الحجم ، فعلى مر السنين طور العلماء تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة وصولاً إلى تقنية التبخير الثنائي (المشترك) في الفراغ والتي تم اكتشافها من قبل العالم هوگارث Hogarth العام 1968.

ساهمت تقنية الأغشية الرقيقة مساهمة كبيرة في دراسة أشباه الموصلات وأعطت فكرة واضحة عن العديد من خواصها الفيزيائية والكيميائية ، وللأغشية الرقيقة أهمية صناعية وتكنولوجية كبيرة فهي تدخل في تطبيقات التقنية الحديثة مثل صناعة الخلايا الشمسية وفي مجالات الأقمار الصناعية والاتصالات وكواشف الأشعة الكهرومغناطيسية وفي ليزرات أشباه الموصلات كما تستخدم كمتسعات وثنائيات ومقاومات في الدوائر الكهربائية هذا فضلاً عن استخدامها في دوائر الفتح والغلق والذاكرة وكمرشحات ومرايا عالية الكفاءة إلى غير ذلك من الاستخدامات الواسعة [1].

.....

.....

[1] K.L.Chopra ،"Thin Films Phenomena"، McGraw – Hill Book Company،New York، (1969)

الفصل الاول

ماهية الغشاء الرقيق

1-1- مقدمة عامة عن الأغشية الرقيقة :

الغشاء الرقيق مادة غشائية صلبة تنمو على ركيزة من مادة مناسبة، وتكون ثخانة هذا الغشاء من رتبة النانومتر إلى بضع ميكرونات (حوالي 5 ميكرون) وإذا زادت ثخانته عن هذا الحد يدعى بالغشاء الثخين .[9]

وعموماً تم توضيع أغشية رقيقة من مواد مختلفة منها المعدنية والكهرنفوذية ونصف الناقلة والفائقة التوصيل والمغناطيسية لأغراض متعددة.

هناك عدة عوامل تؤثر في تشكيل الغشاء إما بشكل إيجابي أو سلبي:

1- إضافة ذرات إلى هذا الغشاء وهو عامل إيجابي.

2- إزالة ذرات من هذا الغشاء وهو عامل سلبي . والذي تتم بـــ :

1- ارتداد الذرات بعد الاصطدام (مرن).

2- تصعد الذرة إلى الفراغ بعد التصاقها بالسطح (يمكن أن يحدث هذا نتيجة تسخين الركيزة لدرجة حرارة عالية جداً مثلاً).[10]

فإذا كان العاملان متوازنان لا يحدث تشكل غشاء.

1-1-1- مراحل تشكل الغشاء يمكن أن تختصر على سبع خطوات :

1. التوافق (التكيف) الحراري: أي أن تكون الركيزة مهيئة حرارياً لاستقبال (التقاط) الذرات المصطدمة، حيث أن الالتقاط يحتاج لدرجة حرارة مناسبة والذرات المصطدمة ينبغي أن تفقد ما فيه الكفاية من الطاقة الحركية حتى تستطيع أن تستقر على السطح (أي يحدث تصادم لين يغير الطاقة الحركية وتتحول إلى طاقة داخلية) فالركيزة لا تملك طاقة حركية وطاقة الذرة تصرف.[11]

.....

.....

[9] C. Kittle، "Introduction to Solid State Physics"، John Wiley and Sons، Inc.، 7th edition، (1997) .

[10] M. A. Omer، "Elementary of Solid Stat "، Addison Wesley Publishing Co. ،(1972) .

[١١] بان خالد محمد ،"مجلة الهندسة والتكنولوجيا "،

الشكل (1-1) : وصف تغيرات الطاقة للذرات التي تحاول الالتصاق لتشكيل الغشاء .

ويعطى معامل التركيب الحراري (α_r)(**thermal accommodation coefficient**) (والذي يدل على إمكانية أو عدم إمكانية التصاق الذرات المبخرة بسطح الركيزة لتشكيل الغشاء من خلال معرفة طاقة كل من ذرات البخار والطاقة السطحية للركيزة وطاقة الذرات المرتدة) بالعلاقة :**[9]**

$$\alpha_r = \frac{E_V - E_r}{E_V - E_s} = \frac{T_V - T_r}{T_V - T_s} \qquad (1\text{-}1)$$

حيث E_V : الطاقة الحركية لذرات البخار الواردة على السطح ، E_r : الطاقة الحركية لذرات البخارالمرتدة عن السطح، E_s : الطاقة السطحية ، T_V : الطاقة الحرارية لذرات البخار الواردة إلى السطح ، T_r : الطاقة الحرارية لذرات البخار المرتدة عن السطح ، T_s : الطاقة الحرارية السطحية . (مع العلم أن **E=KT**)
بفرض أن الطاقة الحركية≡الطاقة الحرارية ، وحكماً T_r أصغر من T_V

- في حال كان α_r أصغر ما يمكن فإن التصادم مرن ولا توجد خسارة في الطاقة (حالة مستبعدة)
- في حال كان α_r أكبر ما يمكن يحدث ضياع كبير بالطاقة (حالة مثالية لتشكل غشاء)

حتى تقع الذرات وتلتصق بالسطح يجب أن تملك طاقة بخار أصغر من طاقة التصعيد وعملياً تحقق الذرات هذا الشرط في معظم عمليات التوضيع.

2. **الارتباط** : هنالك عملية تنافسية بين الذرات المرتطمة بالسطح أثناء عملية توضيعها و بين عملية انتزاع هذه الذرات عن السطح :
والتوضيع يحدد من خلال معدل التوضيع، في حين الانتزاع يحدد من خلال درجة حرارة الركيزة (التي سخنت كثيراً

.....

.....

[9] C. Kittle، "Introduction to Solid State Physics"، John Wiley and Sons، Inc.، 7th edition، (1997) .

ستتسبب بخفض عملية التوضيع حتى تتوقف) وتواتر الذرات (التي تحاول عدة مرات الانتزاع قبل أن تستقر على سطح الركيزة) [9].

3. انتشار السطح: بعد ارتباط الذرات بالسطح تتشكل عليه عناقيد مستقرة و قابلة للنمو فهي تمثل عامل جذب و بالتالي سيتشكل الغشاء، و حتى تتم عملية نمو هذه العناقيد تسقط الذرات على السطح وتتدحرج وتأخذ مناحي انتشار وتتجه نحو العناقيد لتنمو وتتحول لغشاء رقيق (فهي عملية عشوائية لكن فيها مسارات مفضلة)[9].

4. عملية التنوية: وهي عملية تشكل العنقود والتي يعرقلها وجود معدل انتزاع يعيق تشكل العنقود، أما الذي يخفض عملية الانتزاع ويحث على تشكل عنقود بشكل سريع هو كون سطح الركيزة غير مستوي أو يحوي على بعض النتوءات تؤدي إلى عرقلة تدحرج الذرات على السطح وبقائها زمناً كافياً لتتجمع وتشكل عنقود[9] .

5. نمو الجزر: وهو نمو العناقيد لتتحول إلى غشاء. وهنالك ثلاثة نماذج لنمو الجزر:

1- نمو ثلاثي الأبعاد للجزر وفي هذه الحالة تكون الذرات قوية الارتباط مع بعضها وارتباطها مع الركيزة أقل.

2- نمو طبقة طبقة ونحصل هنا على بنى بلورية عالية الجودة (وهنا السطح هو المتحكم وعملية الانتشار سريعة).

3- تنمية خليطة : بداية التنمية هنا طبقة ثم يحصل جزر ثلاثية الأبعاد .

6. اتحاد الجزر مع بعضها: ويتم بمغادرة الذرات والجزر الصغيرة باتجاه الكبيرة وابتلاع العناقيد الصغيرة التي تتحرك بعشوائية من قبل الكبيرة .

1-1-2- أشكال نمو الغشاء :

يتم تشكل الغشاء من خلال أربعة أشكال للنمو:

1) النوع 2D من النمو البطيء ينتج عنه سطح ناعم تماماً: وهو نمو ثنائي الأبعاد يشكل غشاء يمتد على سطح الركيزة.

2) النوع 3D تتكون فيه عناقيد سريعة النمو، وهو نمو ثلاثي الأبعاد يحدث منه عدد من العيوب خلال النمو، يعتمد على عدم التجانس بين الطبقات والركيزة.

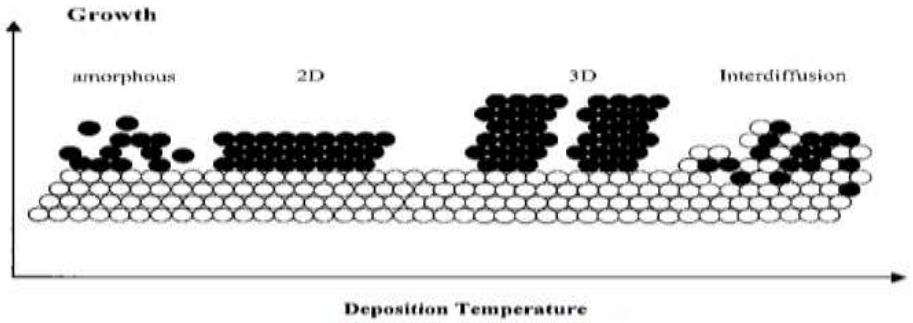
3) النوع غير المتبلور.

.....

.....

[9] C. Kittle، "Introduction to Solid State Physics"، John Wiley and Sons، Inc.، 7th edition، (1997) .

4) نوع التبعثر الداخلي.



الشكل (2-1) : أشكال نمو الغشاء

1-1-3- العوامل المؤثرة على تكوين الغشاء :

1) البنية البلورية للركيزة : من العوامل الهامة التي تلعب دوراً هاماً في تشكل الغشاء و تؤثر في تبلور الغشاء وتحدد البنية البلورية للغشاء هي الركيزة .

شروط اختيار الركيزة:

a) أن يكون عدم التوافق البلوري صغيراً جداً بين مادة الركيزة و مادة الغشاء،

بمعنى أن يكون هنالك تقارب في الأبعاد، والمعادلة المستخدمة عموماً لحساب عدم التوافق[12]:

$$a_f = (a+b)/2 \text{ حيث } F = (a_f - a_s)/a_s \qquad (1\text{-}2)$$

و a_f: هو ثابت شبكة الغشاء، و a_s : هي ثابت شبكة الركيزة . حيث $\mathbf{a,b}$ ثوابت الشبكة البلورية للركيزة.

b) درجة حرارة عملية التبخير يجب أن تكون أقل من نقطة الانصهار ونقطة الانتشار لمادة الركيزة.

c) يجب أن لا يحدث تفاعل كيميائي بين الركيزة و الغشاء في درجات حرارة عالية.

2) درجة حرارة الركيزة :

عند وصول الذرات المراد توضيعها إلى الركيزة تكون معرضة لعدد من العمليات الحركية تتضمن الامتزاز والتطاير والتنوية وحتى إعادة التبخر، فإذا كانت الجسيمات تملك طاقة أعلى من طاقة الترابط المميزة فإنها تتبخر من جديد من سطح الركيزة إلى جو الحجرة لذلك نحتاج إلى تسخين الركيزة .

.....

[12] E.Cetinorgu، S: Gold smith، yurosenbrg، R.L.Boxman ''influences of annealing on the physical properties of filtered vacuum are deposited in the oxide thin film ''journal of non-crystalline solids، vol.353، pp.25، 5- 2602، 2007.

إضافة إلى أن تسخين الركيزة يؤمن سطح غير أملس يزيد من إمكانية حصول تنوية، أما الزيادة في تسخين الركيزة فيتسبب بإعادة تبخر الغشاء بعد أن يتشكل .

إضافة إلى أن الركيزة الباردة تسبب تكاثف البخار الساخن على سطحها فتتوزع السماكة بشكل غير متساوٍ، أما في الحالة التي تكون فيها درجة حرارة الركيزة مرتفعة بشكلٍ كافٍ فإن الذرات تمتلك طاقة حركية كافية لتعديل مواضعها على الركيزة بحيث تتوزع بشكلٍ متجانس.

3) تأثير موقع الركيزة ومساحتها :

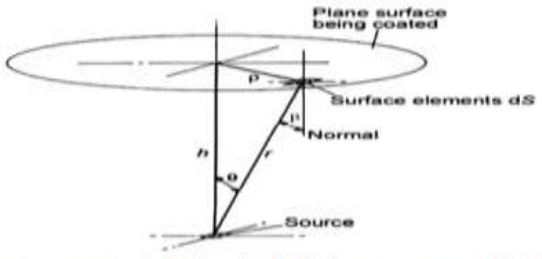
إن الركائز المتواجدة فوق الهدف مباشرة تحصل على أعلى توضيع ممكن ويكون الغشاء أكثرها ثخانة وتقل ثخانة الغشاء تدريجياً مع إبعاد موقع الركيزة عن الهدف.

إضافة إلى أن كبر مساحة الركيزة الموضع عليها يسبب وجود غشاء متباين في السماكة بشكل واضح لذلك نلجأ إلى قص الركائز إلى مساحات صغيرة في محاولة للحصول على أغشية منتظمة السماكة بشكل تقريبي .

وتجدر الإشارة إلى إن زيادة مساحة سطح الهدف يقابله زيادة سطح التماس مع البوتقة، ينتج عنه حصول المادة على درجة الحرارة المناسبة للتبخير بشكل أسرع .**[13]**

4) تأثير دوران الركيزة أثناء التوضيع :

تكون ثخانة الغشاء في المنطقة التي تقع مقابل المادة المبخرة مباشرة (المادة الهدف المراد تصنيع الغشاء منها) أكبر ما يمكن، وتتناقص هذه الثخانة مع الابتعاد عن شاقول المادة الهدف، لذلك يسبب تثبيت الركيزة في مكان واحد عدم انتظام في ثخانة الغشاء لذلك نقوم بتدوير الركيزة أثناء التوضيع بوضعها على حامل دوار. **[13]**كما في الشكل .



الشكل (3–1) : يوضح توضع الركيزة على الحامل الدوار و بعدها عن الهدف.

.....

.....

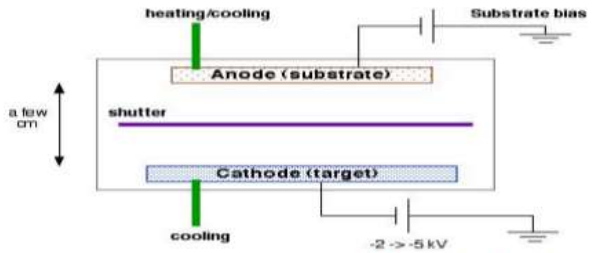
[13] K.Matras-Postolek،" University of Applied Sciences Department of Chemical Engineering Steinfurt/Muenster "، (2009).

1-2- أهم تقنيات تصنيع الأغشية الرقيقة :

يتم توضيع الأغشية الرقيقة لجميع أنواع المواد بطرائق مختلفة نذكر بعضاً منها :

1-2-1-التوضيع بواسطة الترذيذ (DC Sputtering Deposition) :

المبدأ: في هذه التقنية تقتلع الذرات الهدف بقصف مادتها بجسيمات ذرية عالية الطاقة عادة ما تكون على شكل أيونات مشحونة تتسبب باقتلاع ذرات المادة الهدف التي تتوضع بدورها على الركيزة مشكلة الغشاء الرقيق [14].



الشكل (4-1): مخطط تفصيلي لعملية التوضيع بواسطة الترذيذ

يكون كل من الهدف والركيزة موضوعين على لبوسين متوازيين داخل حجرة مملوءة بغاز خامل **Ar**. يطبق فرق جهد مستمر **DC** بالكيلوفولط على اللبوسين فتتحرك الإلكترونات الحرة العالية الطاقة بفعل الحقل الكهربائي لتتصادم تصادماً مرناً مع ذرات الأرغون ويحدث عندها أحد الاحتمالات التالية :

1) إذا كانت طاقة الإلكترون أقل من **2eV**: لا تستطيع الإلكترونات أن تؤين غاز الأرغون وما يحدث فقط هو تصادمات مرنة .

2) إذا كانت طاقة الإلكترون أكبر من **2eV**: تحدث تصادمات غير مرنة بين الالكترونات وذرات الأرغون تسبب انتقال للطاقة من الالكترونات للأرغون فتتسبب إما بإثارة الأرغون والحصول على غاز متوهج، أو تأين وذلك تقريباً من أجل طاقة ~ **15eV** وعندها[14] :

$$Ar + \bar{e} \rightarrow Ar^{+} + 2\bar{e}$$

وبالتالي تتجه أيونات الأرغون الموجبة التي تسرع باتجاه الكاثود (الهدف) وتقصف السطح بطاقة حركية عالية تؤدي إلى اقتلاع ذرات المادة الهدف، وفي الوقت نفسه تزداد سرعة الإلكترونات الجديدة المقتلعة من الهدف باتجاه الأنود مسببة تأيناً أكثر، ويتم اقتلاع ذرات الهدف من السطح بطريقة عشوائية لتغطي كل سطح الركيزة و ذلك يؤدي إلى نمو الغشاء الرقيق.

1-2-2-التوضيع بالتبخير : EVAPORATION :

المبدأ : توضع المادة المراد تبخيرها ضمن بوتقة مصنوعة من مادة درجة انصهارها عالية غالباً ما تصنع من التنغستين أو المولبيديوم، وتوضع الركيزة مقابلها مباشرة و تسخن البوتقة بتيار عالٍ وجهد منخفض فتنتقل الحرارة إلى المادة التي تتبخر وتتطاير بدورها في الخلاء دون أن تصطدم بذرات الغاز المتبقية. فتصطدم بسطح الركيزة حيث تتكثف وتتوضع عليها. من الممكن أن تتبخر مادة الوعاء عند تبخير مادة درجة انصهارها عالية جداً، الأمر الذي يؤدي إلى تلوث الغشاء المتشكل بمادة أخرى غير مرغوبة، يمكن التخلص من هذه المشكلة باستخدام طرق أخرى للتبخير كاستخدام المدفع الإلكتروني. يستخدم عادة في التبخير بهذه الطريقة مواد عديدة منها: $Mg، Ca$ ، zn ، Sb ، Cr ، Sn ، Al ، Ag ، Au ، كذلك يمكن تبخير الفلوريدات والكبريتدات ($ZnS، MgF2$) [14,15]

معاملات التبخير Evaporating parameters

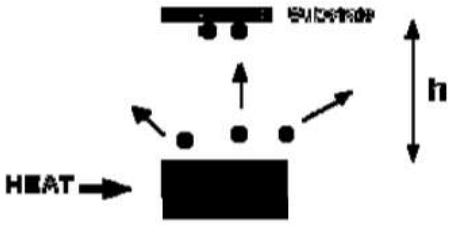
1- معدل التوضيع.

2- المسافة بين الركيزة و المصدر .

3- هندسة السطح .

4- ضغط التخلية .

5- التلوث .



الشكل (5-1): التبخير الحراري بواسطة السلك المقاوم .

العيوب :

مشكلة التلوث: إن مادة البوتقة تتبخرنتيجة الحرارة العالية لتبخير المادة الهدف وتسبب تلوث الغشاء المتوضع بذرات من مادة البوتقة.

مشكلة النقاوة في التبخير: المواد المكونة للمركب تتفكك عند درجات حرارة عالية تختلف بحسب نوع الذرات المكونة لذلك المركب، كل مكون له ضغط بخار مختلف للتبخر، وبالتالي معدل توضيع مختلف مما يؤدي إلى تكون غشاء تختلف نقاوته عن المصدر .

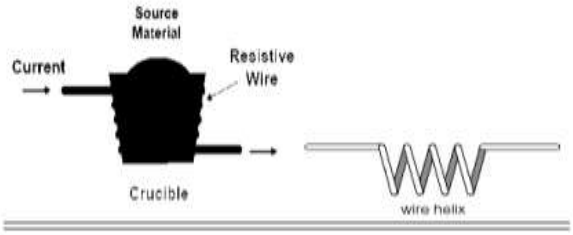
أنواع للتبخير الحراري EVAPORATION و صفاته نذكر منها :

➢ التبخير باستخدام الفتيل الحراري *Thermal filament*

1) التجهيزات بسيطة.

2) عالية التوجيه.

3) وجود تلوث .



الشكل (1–6): أشكال الفتيل الحراري.

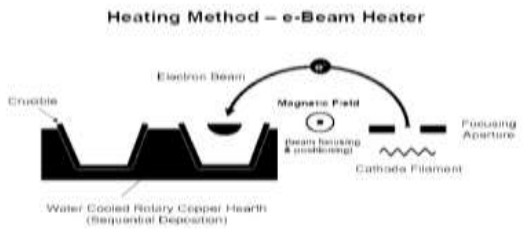
➢ التبخير بحزمة الالكترونات *E-beam*

1) التلوث منخفض .

2) تحتاج طاقة أقل.

3) تحتاج درجة حرارة انصهار عالية للمواد *T melt*

4) المصدر يسلك سلوك بوتقة خاصة.



الشكل (1–7): آلية التوضيع بالحزمة الالكترونية

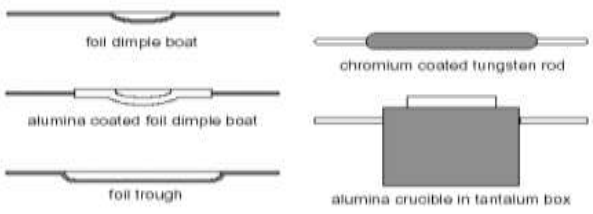
➢ التبخير الحراري :

1) الشوائب منخفضة .

2) رخيص .

3) عالية التوجيه .

4) محدودة المواد .



الشكل (1–8): أنواع البوتقات المستخدمة في التوضيع .

1-2-3- التوضيع بالاستئصال الليزري Laser Ablation Mechanics :

المبدأ: تتضمن هذه الطريقة لنمو الغشاء الرقيق تبخير هدف صلب في غرفة خلاء بواسطة نبضات ليزرية قصيرة، حيث يقوم الشعاع الليزري بتبخير سطح الهدف و يكثف البخار على الركيزة، ويعد حجم الهدف المطلوب في هذه العملية صغيراً مقارنة بالحجم الكبير المطلوب في بقية تقنيات التوضيع، مع إمكانية السيطرة على سمك الغشاء والحصول على غشاء مؤلف من طبقة واحدة وذلك بالتحكم بعدد نبضات الليزر[14].

الفوائد الرئيسية من هذه الطريقة :

1- بسيطة الاستخدام: فهي عبارة عن حزمة ليزرية تبخر سطح الهدف.

2- مرونة الاستعمال: العديد من المواد يمكن أن تبخر في أنواع مختلفة من الغازات داخل حجرة التوضيع على اختلافات واسعة من ضغوط الغاز .

3- مربح: لأن ليزر واحد يخدم العديد من أنظمة التفريغ.

4- تبخر هذه الطريقة العديد من المواد التي عادة تكون صعبة التوضيع بالطرق الأخرى.

5- نسبة التوضيع يمكن أن تكون هائلة والتوضيع السريع للجسيمات المستأصلة النشيطة يساعد في رفع درجة حرارة سطح الركيزة، لذلك هنا يجب عدم تسخين الركيزة إلى درجة حرارة مرتفعة لإنماء الغشاء لأن الحرارة العالية للركيزة تسبب تبخر الغشاء الموضع من جديد.

6- صغر سطح الهدف.

المساوئ :عدم وجود الانتظام إلا في منطقة صغيرة، فهنالك مشكلة في إنتاج المساحات الكبيرة .

1-2-4- الانماء بالحزمة الجزيئية (MBE) Molecular Beam Epitaxy :

المبدأ :

نقل المواد العضوية الطيارة البادرة (precursor) (البادرة هي مادة تتشكل منها مادة أخرى بالتفاعل الكيميائي أو الانحلال) التي تحتوي بعض الأيونات الموجبة إلى الركائز بواسطة حامل الغازات، والمواد البادرة التي على الركائز تكون قد تفسخت وأعيد تفاعلها لإعطاء المراحل المطلوبة[14].

فوائد هذه التقنية :

هي تقنية دقيقة جداً وقادرة على توضيع طبقة ذرية على طبقة ذرية ، وتغطي مساحة أكبر .

وفي التطبيقات البصرية تم استخدام الأغشية الرقيقة عام 1912 في عمل بعض المرايا من تبخير المعادن مثل الفضة والألمنيوم كما استخدمت أغشية الذهب في عملية انعكاس الإشعاع فضلاً عن استخدامها في صناعة المرشحات (Interference-Filters) والطلاءات العاكسة المضادة للانعكاس (Reflective and anti reflective coatings) والمرشحات القطعية (Edge filter) [1،2،3] .

استخدمنا في هذا البحث طريقة التبخير بالليزر النبضي لاستعمالاتها الواسعة ، وان أول من استخدم تقنية التبخير بالليزر النبضي كان (Smith و Turner) سنة 1965 حيث قام بتحضير أشباه موصلات وأغشية رقيقة من العوازل [4] .

إن إمكانية الحصول على أغشية رقيقة لتصنيع الأجهزة الإلكترونية والبصرية جعلت من تقنية التبخير بالليزر النبضي (PLD) بأمد نبضة قصير جداً (ns) تأخذ اهتمام كبير في عصرنا هذا ، وأن لدرجة حرارة الأساس (الأرضية ، القاعدة) ، ضغط الغاز ، طاقة الليزر ، وقيمة الفراغ تأثيراً مهماً في خصائص الغشاء الرقيق المحضر بهذه الطريقة [4،5] .

.....

.....

Private Ltd.، New Delhi، (1995) .

[4] H.M. Smith and A.F.Turner ،"Pulse Laser Deposition -Versatile Thin Film Technique" ، Appl.Optic. ،Vol. 4 ، p. 147، (1965) .

[5] M .Jawad ،R.Ismail،K.Yahea،" Journal of Mater Sci. Mater Electron "،Vol.22، pp.1244–1247،(2011).

الخواص البصرية لأشباه الموصلات Optical properties of semiconductors

ينتج طيف الامتصاص من ظاهرة الفقدان في الطاقة الناتجة من التفاعل الحاصل بين الضوء والشحنات التي تحتويها المادة اذ انه عندما تسقط حزمة ضوئية شدتها I_0 على غشاء فالشعاع شدته I حسب قانون لامبرت Lambert Law :

$$I= I_o \exp(-\alpha t) \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

α : معامل الامتصاص (Abosrption) ويعرف بانه نسبة النقصان في فيض طاقة الاشعاع او الشدةبالنسبةلوحدة المسافةباتجاه الموجة داخل الوسط.

t : سمك الغشاء (cm) .

ويمكن كتابة العلاقة (١) بالصيغة الاتية :

$$\ln I / I_0 = - \alpha t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$t\alpha = 2.303 \text{ Log } I_0 / I$ .....(3)

وبما ان المقدار (Log Io/I) تمثل الامتصاصية (Absorption) (A) لمادة الغشاء فيمكن كتابة المعادلة (٣) بالصورة الاتية :

$$\alpha = 2.303\frac{A}{t} \quad .....(4)$$

ويعتمد معامل الامتصاص على خواص شبه الموصل من حيث فجوة الطاقة الممنوعة ونوع الانتقالات الالكترونية التي تحدث بين حزم طاقته .

وتحسب طاقة الفوتون (hυ) من العلاقة الاتية :

$$h\upsilon(eV) = \frac{1240}{\lambda} \quad .....(5)$$

حيث ان :-

λ : الطول الموجي (nm) .

وتحسب الانعكاسية وفق العلاقة الاتية:-

$$R=1-T-A \quad .....(6)$$

اما معامل الخمود فيعطى من خلال المعادلة الاتية

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad .....(7)$$

ولدراسة الثوابت البصرية يجب ان نتعرف على العوامل التي يعتمد عليها كل من (k_0،n_0) ، اذ يعتمد (N) على عوامل عدة منها نوع المادة ، والتركيب البلوري (ولو كان التركيب البلوري نفسه فان N تتغير تبعا لتغير الحجم الحبيبي)

يمكن حساب معامل الانكسار من خلال العلاقة الاتية:

$$n = \left[\left(\frac{1+R}{1-R}\right)^2 - (k^2+1)\right]^{1/2} - \frac{R+1}{R-1} \quad .....(8)$$

ويمثل ثابت العزل قابلية المادة على الاستقطاب ويمثل استجابة المادة لترددات مختلفة وبسلوك معقد ، ويمكن حساب ثابت العزل بواسطة حساب معامل الانكسار ، اذ عند الترددات البصرية الممثلة بالموجات الضوئية تكون الاستقطابية الالكترونية هي السائدة فقط على بقية أنواع الاستقطاب الأخرى ، كما إن درجة استقطاب المادة لا تعتمد على المجال الكهربائي فقط ولكنها أيضا تعتمد على الخواص الجزئية للمادة التي تجعل من هذه المادة مادة عازلة والمعادلات الآتية يحسب من خلالها ثابت العزل الكهربائي الحقيقي والخيالي.

وثابت العزل الكهربائي الحقيقي يعوض بالعلاقة الآتية :

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \quad .....(9)$$

اما قيمة ثابت العزل الكهربائي الخيالي فيكتب كالأتي :

$$\varepsilon_2 = 2 n k \quad .....(10)$$

ويمثل الجزء الحقيقي مقياس السعة واستقطاب الدايبولات أما الجزء الخيالي فيمثل الفقد في العزل

النتائج والمناقشة (القياسات البصرية) Results and discussion (Optical measurements)

إن دراسة الخواص البصرية توفر معلومات مهمة عن المواد البصرية ووضعها ضمن التطبيق العملي الملائم لها ويرتبط السلوك البصري بشكل وثيق مع تركيب مستويات الطاقة ، والتركيب البلوري للمادة المحضرة ، تمت دراسة الخصائص البصرية ومناقشتها للأغشية المحضرة بطريقة الترسيب بالليزر النبضي (PLD) وبظروف تحضير شملت درجة حرارة أساس 400°C وضغط أوكسجين 0.1 mbar وطاقة ليزر 700 mJ .

١- طيف النفاذية Transmittance Spectrum

حيث نلاحظ أن النفاذية تقل بشكل طفيف بزيادة نسب التطعيم المضافة وتتراوح قيمها حسب قيم الأطوال الموجية لان نسب التطعيم قليلة ، ، وأيضا سبب نقصان النفاذية يعود الى زيادة سمك الغشاء مع زيادة نسب التطعيم .

٢- طيف الامتصاصية Absorbance Spectrum

يمكن إيجاد العديد من الثوابت البصرية من خلال دراسة طيف الامتصاصية لمديات واسعة من الأطوال الموجية إذ نلاحظ أن قيمة الامتصاصية تقل مع ازدياد الطول الموجي ، ونجد أن قيمة الامتصاصية تتناقص بشكل قليل في منطقة الطاقات الواطئة (الأطوال الموجية العالية) فيما تتناقص قيمة الامتصاصية بصورة ملحوظة في منطقة الطاقات العالية (الأطوال الموجية القصيرة)

والشكل (٣) يمثل تغير طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي عند نسب التطعيم المختلفة ، إذ نلاحظ أن الامتصاصية تزداد بزيادة نسب التطعيم لان سمك الغشاء والحجم الحبيبي يزداد، أيضا بسب نقصان فجوة الطاقة البصرية.

٣- معامل الامتصاص (α) Absorption Coefficient (α)

أن معامل الامتصاص يسلك سلوك الامتصاصية حيث يزداد بزيادة نسب التطعيم لتكون مستويات للشوائب المضافة داخل فجوة الطاقة ، تم حساب معامل الامتصاص للأغشية المحضرة بدلالة طيف الامتصاصية باستخدام العلاقة (٤) وكانت قيم معامل الامتصاص cm^{-1} ($\alpha > 10^4$) هذا يدل على احتمالية كبيرة للانتقالات الالكترونية المباشرة وان الطاقات العالية التي حسبت عندها هذه القيم هي طاقات لفجوة طاقة مباشرة ، إن معامل الامتصاص يكون قليل عند الطاقات الفوتونية الواطئة وفيها تكون احتمالية الانتقالات الالكترونية قليلة وتزداد قيم معامل الامتصاص عند حافة الامتصاص باتجاه الطاقات العالية .

٤- فجوة الطاقة البصرية للانتقالات المباشرة المسموحة

Optical Energy Gap for Direct Allowed Transitions

تعرف فجوة الطاقة البصرية بأنها أقل طاقة لازمة لنقل الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل. وتعد فجوة الطاقة من أهم الثوابت في فيزياء أشباه الموصلات إذ يعتمد استخدام المواد شبه الموصلة في التطبيقات البصرية كالخلايا الشمسية، الخلايا الضوئية، الكواشف ، الثنائيات الضوئية وطلاء المجمعات الشمسية على تحديد هذا الثابت ، إذ يتم اختيار مواد طاقة فجوتها تقارب طاقة الفوتونات ضمن جزء من الطيف الكهرومغناطيسي وحسب الحاجة للسيطرة والتحكم بمقدار ما يمتص ، أو ينفذ ، أو ينعكس من الفوتونات الساقطة على الغشاء. ، وتم حساب قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقالات المباشرة المسموحة من خلال المعادلة الآتية :

$$\alpha(h\upsilon) = A'(h\upsilon - E_g)^{r} \cdots\cdots\cdots (11)$$

حيث :

A' : ثابت التناسب ، E_g : فجوة الطاقة ، α : معامل الامتصاص ، r : معامل أسي .

٥- معامل الخمود (k) Extinction Coefficient (k)

تم حساب معامل الخمود باستخدام المعادلة رقم (7) ويوضح الشكل رقم (٦)(تغير معامل الخمود مع طاقة الفوتون الساقط ومن خلال الشكل نستطيع ملاحظة التشابه في طبيعة منحني معامل الامتصاص وتغيرهما مع طاقة الفوتون إذ إن التشابه ناتج عن اعتماد حساب قيم معامل الخمود على قيم معامل الامتصاص كما هو واضح في المعادلة رقم (٧) . حيث عند زيادة نسبة التطعيم فان معامل الخمود يزداد عند

الطاقات eV (3.5-4.2) في حين لها تأثير عكسي عند القيم الفوتونية الأقل من حافة الامتصاص مما يؤكد حصول انتقالات الكترونية مباشرة عند تلك الطاقات .

٦- معامل الانكسار (n)

Refractive Index (n) تم حساب معامل الانكسار استنادا الى المعادلة رقم (٨) ويبين الشكل (٧) تغير معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون لأغشية ZnS ويلاحظ أن معامل الانكسار يقل بزيادة نسب التطعيم .

٧- حساب ثابت العزل الكهربائي Dielectric Constant

إن التفاعل بين الضوء وشحنات الوسط يكون بسبب عملية امتصاص الطاقة في المادة ومن ثم حصول عملية استقطاب لشحنات ذلك الوسط إن هذا الاستقطاب يوصف عادة بثابت العزل الكهربائي المعقد لذلك الوسط .

إن الأغشية الرقيقة المحضرة من طبقة أو عدة طبقات من الذرات على سطوح زجاجية أو معدنية أو بلاستيكية لايتعدى سمكها أحياناً مايكرون واحداً ، سـواء أكانت تلك الأغشية المحضرة مشوبة أم غسر مشوبة ، وفي حالة الحاجة إلـى أغشية شفافة محضرة بدرجة حرارة عالية عنـدها تستخدم السطوح الزجـاجية (الشرائح الزجاجية)بدلاً من السطوح البلاستيكية والمعدنية.ولمعرفة إمكانية إستخدام أغشية رقيقة محضرة بطريقة الترسيب الكيميائي الحراري . لابد من دراسة الخواص الفيزيائية الكيميائية للمادة .

إن إستخدام الخلايا الشمسية في العديد من التطبيقات لتوليدالطاقة الكهربائية حظي بإستخدام الباحثين في العالم مما دفعهم إلى تطوير الخلايا الشمسية للحصول على طاقة فجوة مناسبة لأشباه الموصلات لكي تدخل في صناعة تلك الخلايا على شكل أغشية رقيقة .. فظهرت أنواع عديدة من الخلايا مثل GaAs ، Bi2o3 ،Cu2s

لقد إهتم الباحثون في معرفة العوامل المؤثرة على الخلايا الشمسية مثل شدة الضوء ودرجة الحرارة وإمتصاصية الأغشية المستخدمة وطاقة الفجوة وتأثير الشوائب على الصفات الضوئية والكهربائية لتلك الأغشية.

.....

.....

١٦- زياد طارق خضير , ٢٠٠٣ , دراسة الخواص البصرية للاغشية , رسالة ماجستير , كلية التربية , الجامعة المستنصرية

طرائق تحضير الأغشية الرقيقة:

تعددت طرائق تحضير الأغشية الرقيقة بزيادة التطور العلمي التكنولوجي وتطورت وتعقدت الأجهزة المستخدمة في تحضيرها وازدادت تبعاً لذلك كلفة التحضير والتي تشكل عائقاً كبيراً أمام الحصول على أغشية رقيقه وبكلف اقتصاديه مقبولة ولكل طريقه من طرائق تحضير الأغشية مميزاته الخاصة بها من حيث الدقة في تحديد السمك وتجانس الغشاء والتي تؤدي الغرض المطلوب ويعطي الشكل الموضح أدناه تصنيفاً لطرائق ترتيب الأغشية الرقيقة وتصنف إلى نوعين : الطرائق الفيزياوية physical method والطرائق الكيمياويه chemical method - إن إحدى الطرائق التي تم فيها تحضير الأغشية باستخدام المحاليل الكيميائية هي طريقة الرش الكيميائي الحراري والتي تسمى أحيانا بطريقة التحلل الحراري(pyrolysis) أو الرش الكيميائي الحراري.

طريقة الرش الكيميائي الحراري:

تحضر الأغشية بهذه الطريقة من خلال رش محلول أملاح المادة المراد تحضير الغشاء منها على قواعد ساخنة وبدرجة حرارة معينه تعتمد على نوع المادة المستعملة حيث تتم عملية التحلل الحراري Thermal) decomposition)للمركبات الصلبه المتكونة على سطح القاعدة الساخنة لتعطي نواتج مستقره كيميائياً.

تعد طريقة الرش الكيميائي الحراري من الطرائق المهمة والفعالة في تحضير الأغشية الرقيقة المستخدمة في الكثير من التطبيقات الصناعية كصناعة الخلايا الشمسية والكواشف ومن مميزات هذه ألطريقه : اقتصادية نظراً لقلة تكاليف الأجهزة المستخدمة في تحضير الأغشية حيث لاتحتاج إلى أجهزة معقدة للتحضير مثل أنظمة التفريغ التي تستخدم في طريقتين الترذيذ والتبخير .إمكانية تحضير أغشية رقيقة المركبات ذات درجات انصهار عالية يصعب تحضيرها بالطرائق الأخرى ملائمة لتحضير اكاسيد وكبريتات هذه المواد .يمكن تحضير أغشية رقيقة بمساحات اكبر مما توفر الطرائق الأخرى. يمكن تحضير أغشية من مزج مادتين أو أكثر لها درجات انصهار مختلفة مثل (pbs.zns) الأغشية المحضرة بهذه الطريقة لها استقرارية عالية في صفاتها الفيزيائية مع مرور الزمن.

تتألف منظومة الترسيب بالرش الكيميائي الحراري من عدة أجهزة بسيطة بحيث يتم الاستفادة منها في تحضير أغشية رقيقة على قواعد متنوعة.

إن هذا النوع من البحوث يعد من المواضيع المهمة في فيزياء الحالة الصلبة.

وهنالك عدة طرق اخرى لتحضير الاغشية

1- طريقة التبخير الحراري في الفراغ
Thermal Evaporation In Vacuum

2- طريقة الترذيذ
Sputtering

Method

3- الطرق الكيميائية
Chemical
Methods

أ- طريقة الترسيب الكهربائي (أغشية الكاثود)
Electrolic Deposition -Cathodic
films
ب-طريقة الترسيب الكهربائي (أغشية الأنود)
Electrolic Deposition -Anodic films

ج- طريقة الترسيب الكيميائي الحراري
Chemical Spray Pyrolysis

مميزات طريقة الترسيب الكيميائي الحراري
١- يتم تحضير هذه الأغشية في ظروف إعتيادية
2- بساطة الأجهزة المستخدمة عند التحضير
3- غنها طريقة جيدة للحصول على اغشية مزيج مادتين أو أكثر وبنسب مختلفة
4- يجب أن تكون درجة الحرارة مناسبة لإكتمال النماء البلوري على السطوح الزجاجية
5- يمكن الحصول على أغشية ذات مساحات سطحية كبيرة
6- إن هذه التقنية أفضل لتحضير أغشية دات إنعكاسية قليلة للإستخدام في الخلايا الشمسية من تقنية التبخير في الفراغ
لقد أظهرت هذه الطريقة كفاءة عالية في تحضير العديد من أغشية أكاسيد المعادن مثل أكاسيد كل من الحديد والنحاس والبزموث والسليكون

.....
.....

[6] National Audubon Society، "Field Guide to North American Rocks and Minerals" ، (1979) .

4- الطرائق الفيزيائية
physical methods

أ-الترسيب اللاكهربائي
Electro less process

ب- الترسيب الكهربائي
Electrode-positing

ج- ترسيب البخار الكيميائي
Chemical vapor deposition (CVD)

د- التبخير باليزر
Laser evaporate-ion

ه- التسخين بالمقاومة
Resistive heating

و- التسخين بالحزمة الالكترونية
Electron bombardment heating

ع- التبخير بالقوس
Arc evaporation

س- الترذيذ تحت ضغط واطئ
Low-presser Sputtering

D.C. Sputtering

ص- الترذيذ بالحزمة الايونية
Lon beam Sputtering

R.F. Sputtering

ف- اكسدة الانود
Anodic oxidation

ق- الترسيب بالتحليل
Electrolytic

deposition

.....

.....

[7] B. Ray، "II-IV Compound" ، Fst Edition، Neil Co. ltd، (1969).

1- أغشية المعادن والسبائك

تستخدم هذه الأغشية كمقاومات كهربائية ، ومن المعادن المفضلة في هذا المجال المعادن الإنتقالية وسبائكها، حيث تمتاز بمقاومتها العالية مقارنةً بالسبائك الأخرى وذلك بسبب تداخل حزم الطاقة المملوءة جزئياً مع حزم الطاقة الفارغة جزئياً،إضافة إلى ذلك فإن محدودية الغشاء الرقيق تساهم في تغيير المقاومة النوعية بسبب الإستطارة السطحية وهي صفة مميزة للأغشية المصنعة من هذه المواد.

يمكن التحكم بمقاومة الاغشية عندما يكون سمك الغشاء أقل من معدل المسار الحر للألكترونات فتستطير الألكترونات عند السطح في حالة تسليط مجال كهربائي ، وكذلك عند إسصطدام الألكتونات مع النويات والتي يكون حجمها مساوياً أو أقل من معدل المسار الحر للألكترونات مما يزيد من مقاومة أغشية المعادن والسبائك

تستخدم مثل هذه الأنواع من الأغشية كموصلات في الدوائر الكهربائية وفي بناء المحتثات والمتسعات

2- أغشية مزيج المعادن والعوازل

درست هذه الأغشية منذ سنوات عدة وإن النظرية التي تفسر سلوك المزيج المصنع كغشاء رقيق تدعم المسامية حيث تعتمد على مبدأ التركيز الحرج للمادة الموصلة ز فعندما يكون تركيز المادة أعلى من القيمة الحرجة عندها يمكن إعتبار الغشاء شبكة متصلة من الشعيرات المعدنية، أما إذا كان تركيز المادة الموصلة أقل من القيمة الحرجة فلا تكن الفواصل متصلة مع بعضها بصورة جيدة لتمثل مسارات معدنية ولذلك يحصل التوصيل الكهربائي بين جسيمات محددة ، حيث أن إنتقال الألكترونات يتطلب إثارة حرارية للتغلب على القوة الكهربائية المستقرة.ومثل هذه الحرارة تجعل معامل المقاومة سالباً وهي الصفة المكتسبة لمزيج المعادن والعوازل

3- الأغشية غير المتبلورة Amorphous films

يستخدم هذا النوع من الأغشية في صناعة الأفلام الجافةوالمفاتيح الكهربائية وكاشف الأشعة تحت الحمراء والتصوير الضوئي .أما أكاسيد المواد الداخلة في تكوين تلك الأغشية فتستخدم في الدوائر الكهربائية المتكاملة

وترجع أهمية الأغشية الرقيقة غير المتبلورة إلى إمكانية تحضيرها في مساحات كبيرة يمكن الأستفادة منها في التطبيقات الصناعية

3- **الأغشية الموصلة للكهربائية** Thin films photo conductor

يستخدم هذا النوع من الأغشية في أجهزة قياس شدة الضوء وفي التصوير الفوتوغرافي الضوئي وكواشف حزم الضوءلأغراض التنبيه وفي الإستساخ الضوئي.إن هذه التطبيقات تعتمد على فكرة التوصيل الكهربائي الضوئي حيث أن تفاعل الإشعاع مع المواد الموصلة ضوئياً يؤدي إلى تغيير الإيصالية لتلك المواد، وإن أكثر الموصلات الضوئية تظهر إمتصاصية عالية لجزء محدود من الطيف وخاصة عند الطبقات الرقيقة من سطوح المواد الموصلة.

ولكون أن الصفات الأصلية للمادة لا تتأثر بالسمك لذلك تستخدم أغشية رقيقة لا يتعدى سمكها أحياناً مايكروناً واحدا

.....

.....

[10] M. A. Omer، "Elementary of Solid Stat "، Addison Wesley Publishing Co. ،(1972) .

تطبيقات الاغشية الرقيقة

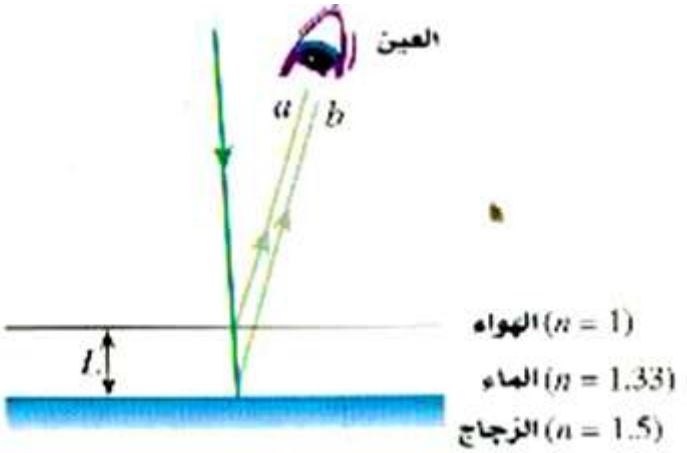
إن الهدبات الملونة التي كثيراً ما نراها في أغشية الزيت أو الصابون، من أكثر مظاهر التداخل شيوعاً وانتشاراً.

يبين الشكل (1) عشاء رقيقاً من الماء سمكه L فوق شريحة زجاجية والضوء الذي نراه منعكساً من الغشاء قد انعكس جزء منه من السطح العلوي للماء وجزء آخر من السطح الفاصل بين

الزجاج والماء. ويمثل الشعاعان a و b هذين الانعكاسين. لوكي نبسط المناقشة فقد جعلنا الشعاعين يكادان أن يكونا متعامدين على الغشاء حتى لا نضطر إل معالجة انكسار الأشعة.والشعاعان a و b مترابطان لأنهما جزء من نفس الحزمة الساقطة، ومن ثم فهما متفقان في الطور عندما يلتقيان بالسطح العلوي للغشاء المائي. ويتباطأ الشعاع b عندما يمر عبر الغشاء، بالنسبة للشعاع a، لأن عليه أن يخترق سمك الغشاء مرتين (في رحلة طولها 2L) قبل ان يغادر الماء ويتلقى بالشعاع a ليتحد معه. أي أن اختلافاً في الطور بين الشعاعين قد نشأ، يعتمد على طول المسار البصري المكافئ الذي يقطعه الشعاع b. وهذا الاختلاف في الطور هو :

الفرق في الطور بين الشعاعين a و b $= \frac{2nL}{\lambda_{air}} = \frac{L_{opt}}{\lambda_{air}}$

فإذا كان هذا الفرق مساوياً لعدد صحيح، فإن الشعاع b سيتحد في نفس الطور مع الشعاع a عندما يعود الشعاع b ويخترق السطح العلوي للغشاء ولهذا فإن الضوء المنعكس من سطحي الغشاء سيكون ساطعاً، أما إذا كان المقدار $2L_{opt}$ عدداً فردياً من أنصاف الاطوال الموجية ($\lambda/2$ ، $3\lambda/2$ ، $5\lambda/2$ . . إلخ) فإن التحام الشعاعين سيكون مختلفاً في الطور بنصف دورة مما ينتج عنه تداخل هدام.



الشكل (1): تنتقل الأشعة الضوئية المنعكسة من السطحين العلوي والسفلي لغشاء رقيق لمسافات مختلفة قبل أن تلتحم معاً، وترى العين ظاهرة التداخل الناتجة.وسمك الاغشية الرقيقة عادة ما يكون مقارباً أو أقل من الأطوال الموجية للضوء المرئي ولذلك، إذ أضئ بضوء أبيض، فإن التداخل البناء قد يحدث لأحد الاطوال الموجية فقط دون باقي الأطوال الموجية الصادرة عن المصدر. ويرى الغشاء بواسطة الضوء المنعكس ملوناً نتيجة لذلك.هناك أيضاً مصدر آخر لحدوث اختلاف أو فرق في الطور عند تناول الانعكاسات ولعلك تذكر من مناقشاتنا للموجات المتكونة في الأوتار. أننا لاحظنا انقلاب الموجة (أي تغيراً في الطور مقداره 180 أو نصف دورة) عندما تنعكس عند الطرف المثبت للوتر. أما الموجة المنعكسة من طرف حر للوتر فلا تعاني من أي تغير عند الطرف المثبت للوتر. أما الموجة المنعكسة من طرف حر للوتر فلا تعاني من أي تغير في الطور. وتحدث ظاهرة مماثلة عندما ينعكس الضوء على الحد الفاصل بين مادتين لهما معاملا انكسار مختلفان.إذا انعكس ضوء ينتقل في وسط معامل انكساره n_1 على وسط آخر معامل انكساره أكبر ($\boldsymbol{n}_2 > \boldsymbol{n}_1$) فأن الموجة المنعكسة ستختلف في الطور بنصف دورة بالنسبة للموجات الساقطة. غما اذا كان $\boldsymbol{n}_2 > \boldsymbol{n}_1$ فإن الموجة المنعكسة لن تعاني أي اختلاف في الطور.

وهذا الاختلاف في الطور سيكون بالإضافة إلى اختلاف الطور الناشئ عن المسارات البصرية غير المتساوية.

وتعتمد كيفية تداخل الأشعة عندما تتحد على الفرق الكلي في الطور. فإذا كانت الأشعة تعاني من فرق في الطور مقداره 180^{o}أو صفر عند الانعكاس فإن العامل الوحيد الذي يحدد التغير الكلي في الطور هو الفرق في طور المسار البصري المكافئ، كما سبق وناقشنا. إلا أنه إذا عانى أحد الشعاعين أو غيره من تغير في الطور نتيجة الانعكاس بينما لا يعاني الشعاع الآخر، فإن هذا التغير لابد من إضافته إلى الفرق الناتج من اختلاف طول المسار.

.....

.....

[6] National Audubon Society، "Field Guide to North American Rocks and Minerals" ، (1979) .

المصـــــادر

[1] K.L.Chopra ،"Thin Films Phenomena"، McGraw – Hill Book Company،New York، (1969) .

[2] S.M.Sze ، "Physics of Semiconductor Devices"، John Wiley and Sons Inc. (1969).

[3] M. Shur ، "Physics of Semiconductor Devices"، Prentice – Hall of India Private Ltd.، New Delhi، (1995) .

[4] H.M. Smith and A.F.Turner ،"Pulse Laser Deposition - Versatile Thin Film Technique" ، Appl.Optic. ،Vol. 4 ، p. 147، (1965) .
[5] M .Jawad ،R.Ismail،K.Yahea،" Journal of Mater Sci. Mater Electron "،Vol.22، pp.1244–1247،(2011).
[6] National Audubon Society، "Field Guide to North American Rocks and Minerals" ، (1979) .
[7] B. Ray، "II-IV Compound" ، Fst Edition، Neil Co. ltd، (1969).
[8] M. Ashraf، S.M.J. Akhtar، Z. Ali and A. Qayyum،" Optics Laboratories"، ، Vol 45، pp. 5، (2011).
[9] C. Kittle، "Introduction to Solid State Physics"، John Wiley and Sons، Inc.، 7th edition، (1997) .
[10] M. A. Omer، "Elementary of Solid Stat "، Addison Wesley Publishing Co. ،(1972) .
[١١] بان خالد محمد ،"مجلة الهندسة والتكنولوجيا "، المجلد 29 ،العدد ١٦ (2011)
[12] E.Cetinorgu، S: Gold smith، yurosenbrg، R.L.Boxman ‘‘influences of annealing on the physical properties of filtered vacuum are deposited in the oxide thin film ''journal of non-crystalline solids، vol.353، pp.25، 5- 2602، 2007.
[13] K.Matras-Postolek،" University of Applied Sciences Department of Chemical Engineering Steinfurt/Muenster "، (2009).
١٤- زينب ارحيم حسين جاسم الاسدي , ٢٠٠٨ , رسالة ماجستير , كلية العلوم , الجامعة المستنصرية
١٥- عدنان خالد حسن القيسي , ٢٠٠٢, رسالة ماجستير , التبخير الحراري , الكلية الهندسية العسكرية