



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة القادسية

العلوم / علوم الكيمياء

بحث حول

تحضير وتشخيص بعض الاغشية الرقيقة باستخدامها بتطبيقات الخلايا الشمسية

(بحث مقدم الى مجلس كلية العلوم / قسم علوم الكيمياء جامعة
القادسية وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علوم
الكيمياء)

مقدم من قبل الطالب

رنا عباس عنيد

بإشراف الدكتور

احمد كاظم الحساوي

٢٠١٨ م

١٤٣٩ هـ

الآية

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

«إِنَّ اللّٰهَ لَا یَغۡیِرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ

یَغۡیِرُوا مَا بِأَنفُسِهِم»

صدق الله العلي العظيم

سورة الرعد

آية ١١

الإهداء

إلى : الذي لولاه لما مسكت أناملتي قلماً... عنوان التفاني والإيثار...

ومنبت العز والعنفوان... والدي الحبيب (رحمه الله)..

إلى : التي كلما نطقت شفاها كانت بالدعاء لنا... نبغ الحنان الصافي...

ورمز التفاني والتضحية... وعنوان المحبة والإخلاص.. والدتي الحنون..

إلى: من أشد بهم أوزي ... عنوان المحبة...

أعز ما في الحياة اخوتي وأصدقائي

إلى: الشموع التي انارت طريقي وزينت دربي.....

صانعي الاجيال وبناءة المجتمع اساتذتي الافاضل

إلى: من أرتوت الأرض بدمائهم شهداء العراق الأبرار

وبالأخص إلى ارواح شهداء مدينتي الحبيبة

أهدي هذا الجهد المتواضع.

الشكر والتقدير

الحمد لله الذي انار لنا درب العلم والمعرفة وعاننا على هذا

الواجب ووفقنا الى انجاز هذا العمل .

نتوجه بجزيل الشكر والامتنان الى كل من ساعدنا من

قريب او بعيد على انجاز هذا العمل .

وفي تذليل ما واجهنا من صعوبات ونخص بالذكر الدكتور

(احمد كاظم الحساوي) الذي لم يبخل علينا في توجيهاته

ونصائحه التي كانت عوناً لنا في اتمام هذا البحث .

ولا يفوتنا ان نشكر جميع الكادر التدريسي في كلية العلوم

قسم علوم الكيمياء .

ومن الله التوفيق

الفصل الاول

نبذة تاريخية حول الاغشية الرقيقة

يصف مصطلح الغشاء الرقيق طبقة واحدة او عدة طبقات من ذرات المادة لا يتجاوز سمكها المايكرو الواحد. استعملت الأغشية الرقيقة منذ أكثر من نصف قرن في عمل النبايط الإلكترونية والفوتو فولتائيه ومختلف التطبيقات البصري وهي ما زالت تتطور يوميا . حيث أن تقنية الأغشية الرقيقة تعتبر تقنية قديم لكنها بنفس الوقت تعتبر المفتاح الحالي لتقنية الكثير من المواد وهناك مجلدات عديدة خاصة بالأغشية الرقيقة منها كتيب العالمين (Glav and Massiel) من أكثر من ثلاثين سنة.

ومن الخواص الأساسية الاغشية الرقيقة هي التركيب البلوري لأغشيه, سمك الأغشية وغيرها من الخصائص والمميزات التي ال تتوفر في المادة بشكلها الحجمي وتركيب الأغشية يعتمد على تقنية التحضير وتكون على هيئة أغشي و عشوائية ومتعددة البلورات أو أغشية أحادية البلورة (crystal Single) كم إن خواصها الكهربائية والبصرية تتغير اعتمادا على البنية البلورية ووجوده عدم وجود الشوائب وبصوره عامة فإن الأغشية الرقيقة تنتمي إلى الحالة الصلبة لذلك فمن الممكن تقسيم هذه المواد تبعاً لتركيبتها البلوري أو لترتيب ذراتها.

وكذلك يستعمل مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة ، أو طبقات عديدة (Layers) من ذرات المادة ال يتعدى سمكها مايكرومتر واحد ، أو عدة نانومترات ، وألنها رقيقة ، وهشة سهلة الكسريجب ترسيبها على مادة صلبة مثل الزجاج ، أو السليكون ، أو بعض الأملاح ، أو البوليمرات ، تمتلك الأغشية الرقيقة خصائص ، ومميزات ال تكون متوافرة في تراكيب المواد الأخرى، فحقيقة سمكها المتناهي في الصغر وكبر نسبة السطح إلى الحجم منحته تركيباً فيزيائياً فريداً يضا هي تركيب أحادية البلورة أحياناً ، ويفوقها أحياناً أخرى ، وتتمتع الأغشية بخصائص فيزيائية تختلف عن خصائص المواد المكونة لها وهي في حالتها الحجمية (Bulk) وتعد إمكانية تحضير أكثر المواد الصلبة على هيئة أغشية رقيقة إحدى التقنيات المهمة للحصول على صفات جديدة للمواد التي يصعب مشاهدتها وتحسسها عندما تكون بشكلها الكتلي الطبيعي ، بدأ العمل في مجال تحضير الأغشية الرقيقة منتصف القرن التاسع عشر ، ففي العام 1852 توصل كلاً من بنزن وگروف Grove and Bunsen إلى تحضير أغشية رقيقة باستخدام تقنية التفاعل الكيميائي reaction Chemical وكذلك بتقنية التريذ بالتريغ التوهجي-Glow sputtering discharge ، 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 هوگارت(Hogarth) العام 1968

المقدمة Introduction

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 البوليمرات ، تمتلك الأغشية الرقيقة خصائص ، ومميزات لا تكون متوافرة في تراكيب المواد الأخرى، فحقيقة سمكها المتناهي في الصغر وكبر نسبة السطح إلى الحجم منحتهما تركيباً فيزيائياً فريداً يضاهي تركيب أحادية البلورة أحياناً ، ويفوقها أحياناً أخرى ، وتتمتع الأغشية بخصائص فيزيائية تختلف عن خصائص المواد المكونة لها وهي في حالتها الحجمية (Bulk) ، وتعد إمكانية تحضير أكثر المواد الصلبة على هيئة أغشية رقيقة إحدى التقنيات المهمة للحصول على صفات جديدة للمواد التي يصعب مشاهدتها وتحسسها عندما تكون بشكلها الكتلي 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 التريذ بالتفريغ التوهجي 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 هوگارت 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 .

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) .

انواع الاغشية الرقيقة

١- أغشية المعادن والسبائك

تستخدم هذه الأغشية كمقاومات كهربائية ، ومن المعادن المفضلة في هذا المجال المعادن الانتقالية 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 الإسطارة السطحية وهي صفة مميزة للأغشية المصنعة من هذه المواد. يمكن التحكم بمقاومة الاغشية عندما يكون سمك الغشاء أقل من معدل المسار الحر للإلكترونات فتستطير الإلكترونات عند السطح في حالة تسليط مجال كهربائي ، وكذلك عند اصطدام الإلكترونات مع النويات والتي يكون حجمها مساوياً أو أقل من معدل المسار الحر للإلكترونات مما يزيد من مقاومة أغشية المعادن والسبائك. تستخدم مثل هذه الأنواع من الأغشية كموصلات في الدوائر الكهربائية وفي بناء المحثات والتمسكات

٢- 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.

٣- الأغشية غير المتبلورة Amorphous films

يستخدم هذا النوع من الأغشية في صناعة الأفلام الجافة والمفاتيح 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 الاستفادة منها في التطبيقات الصناعية.

٤- الأغشية الموصلية للكهربائية Thin films photo conductor

يستخدم هذا النوع من الأغشية في أجهزة قياس شدة الضوء وفي التصوير الفوتوغرافي الضوئي وكواشف حزم الضوء لأغراض التنبيه وفي الإستساخ الضوئي. إن هذه التطبيقات تعتمد على فكرة التوصيل الكهربائي الضوئي حيث أن تفاعل الإشعاع مع المواد الموصلية 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 الموصلية. ولكون أن الصفات الأصلية للمادة لا تتأثر بالسلك لذلك تستخدم أغشية رقيقة لا يتعدى سمكها أحياناً مايكروناً واحداً

الخواص البصرية لأشباه الموصلات

تصنف المواد في الطبيعة من حيث توصيليتها الكهربائية Electrical Conductivity عند درجة حرارة الغرفة إلى مواد موصلة Conductor وهي ذات توصيلية كهربائية عالية بحدود ($10^3 - 10^8 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$) , ومواد عازلة Insulator ذات توصيلية واطئة جدا بحدود ($10^{-8} - 10^{-18} \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$) , ومواد شبه موصلة Semiconductor توصيليتها بحدود ($10^{-8} - 10^3 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$) , أي ان توصيليتها تقع بين المواد الموصلة والعازلة [S. S. Al-Rawi, elat 1990]. ان الخواص البصرية لأشباه الموصلات هي الأكثر أهمية بسبب استخدامها في الأجهزة الكهروبصرية مثل الكواشف الضوئية والخلايا الشمسية [S. Martinuzz, elat 1978], ومن هذه الخواص معامل الامتصاص Absorption Coefficient الذي يعطى بالمعادلة الآتية :

$$a = 2.303(a/t) \quad (1)$$

حيث (A) : الامتصاصية , (t) : سمك المادة . توصف الخصائص البصرية للمواد المتجانسة

(الامتصاصية , الانعكاسية والنفاذية) عادة بمعاملين هما معامل الانكسار (n) ومعامل الخمود (K) [T. S. Moss, elat 1973]. يتكون معامل الانكسار من جزئين حقيقي وخيالي ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الآتية [T. S. Moss 1986] :

$$n = C / V \quad (2)$$

حيث (n) : معامل الانكسار , (C) : سرعة الضوء في الفراغ ,

(V) : سرعة الضوء في المادة . يسمى الجزء الخيالي من معامل الانكسار المعقد (Complex Refractive Index-N-) بمعامل الخمود , كما موضح بالمعادلة الاتية [Wyckoff 1963] :

$$N = n - iK \quad (3)$$

(n)

: الجزء الحقيقي من معامل الانكسار . يمكن حساب معامل الخمود باستخدام المعادلة الاتية [Ludmlia Ecjertova 1977] :

$$K = \alpha \lambda / 4 \pi \quad (4)$$

حيث (λ) : الطول الموجي للشعاع الساقط . يمثل ثابت العزل الكهربائي Dielectric Constant قابلية المادة على الاستقطاب ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الاتية [J.C.Viguie, elat 1977] :

$$\epsilon = \epsilon_1 - i\epsilon_2 \quad (5)$$

حيث ان (ε) : ثابت العزل الكهربائي المعقد (ε₁ , ε₂) : الجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل على التوالي . يمكن حساب ثابت العزل بوساطة حساب معامل الانكسار , اذ يرتبط ثابت العزل الكهربائي المعقد بمعامل الانكسار المعقد (N) بالعلاقة الاتية :

$$\epsilon = N^2 \quad (6)$$

من المعادلتين (3) , (5) يمكن ان نستنتج :

$$(n - iK)^2 = \epsilon_1 - i\epsilon_2 \quad (7)$$

ومن المعادلة (7) يمكن كتابة جزئي ثابت العزل الكهربائي المعقد (الحقيقي والخيالي) بالصورة الاتية :

$$\epsilon_1 = n^2 - K^2 \quad (8)$$

$$\epsilon_2 = 2 n K \quad (9)$$

تعد قواعد شيف من اهم الليكاندات في تكوين العديد من المعقدات التناسقية من خلال منحها الالكترونات إلى العناصر بصورة عامة والانتقالية منها على وجه الخصوص , وقد استخدمت قواعد شيف بصورة كبيرة جدا في تحضير المعقدات مع العناصر الانتقالية وذلك للتنوع الكبير في طبيعة المجاميع المكونة لها فضلا عن طبيعة المجاميع المرتبطة مع مجموعة الازوميثين (-CH=N-) والتي يمكن ان تتناسق مع العناصر الانتقالية [Z. Uachen, elat 2008] . لقد بينت بحوث عدة ان قواعد شيف المعوضة بمجموعة هيدروكسيل في الموقع اورثو تكون ليكاندات مثالية لتحضير معقدات فلزية انتقالية مختلفة حيث انه في السنوات الاخيرة بدأ ظهور نوع جديد من المركبات التي تتضمن عناصر انتقالية ولهذه المركبات القدرة على اظهار الاطوار البلورية السائلة وتتميز جزيئاتها بانها تتخذ العديد من الاشكال الهندسية التناسقية وهذه المركبات تسمى بالميزوجينات الفلزية . ان التاصر الذي يحدث بين الليكاندات والفلز الانتقالي يؤدي إلى تشويه اوربيتالات (d) للفلز مما يعزز الاستقطابية الالكترونية في الجزيئة وهذا يؤدي إلى امكانية الحصول على معقدات تظهر الصفات البلورية السائلة لليكاندات غير ميزوجينية وتعتمد خواص هذه المعقدات على التركيب الجزيئي لليكاندات والفلز المستخدم [R. S. Mandal, elat 2007].

الخلايا الشمسية ومجالات استخدامها

إن أصل مصطلح "الضوئية" (photovoltaic) من اليونانية (φῶς (phōs)) ويعني الضوء ومن اسم فولتا وهو فيزيائي إيطالي، فولت -وحدة تابعة للقوة الدافعة الكهربائية-، وبذا أصبح المصطلح (photovoltaic) باللغة الإنجليزية منذ عام ١٨٤٩.

تم التعرف لأول مرة على تأثير الضوئية في عام ١٨٣٩ من قبل الفيزيائي الفرنسي بيكريل. ومع ذلك فقد تم بناء أول خلية ضوئية عام ١٨٨٣ من قبل شارلز فريتز، الذي قام بتغليف- السيلينيوم أشباه الموصلات- بطبقة رقيقة جدا من الذهب لتشكيل التقاطعات. وكانت كفاءة الجهاز حوالي ١٪ فقط. وفي عام ١٨٨٨ بنى الروسي الفيزيائي الكسندرستوليتوف أول خلية كهروضوئية على أساس تأثير الكهروضوئي الخارجي الذي اكتشفه هاينريش هيرتز في وقت سابق من عام ١٨٨٧. وقد وضع ألبرت أينشتاين التأثير الكهروضوئي في عام ١٩٠٥ وقد حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٢١. وقد حصل روسل أوهل على براءة اختراع لأشباه الموصلات في تقاطع الخلايا الشمسية الحديثة في عام ١٩٤٦، الذي تم اكتشافه في الوقت الذي تمت فيه سلسلة من التطورات التي عنيت بالترانزستور.

الخلية الشمسية أو الضوئية أو الكهروضوئية

جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية مستغلا التأثير الضوئي الجهدى.

تستخدم التجمعات من الخلايا الشمسية (وحدات الطاقة الشمسية) لالتقاط الطاقة من ضوء الشمس لتحويله الى كهرباء، عندما يتم تجميع وحدات متعددة معاً (حيث تكون أولوية التركيب بنظام تعقب قطبي محمول) يتم تركيب هذه الخلايا الضوئية كوحدة واحدة يتم توجيهها على سطح واحد وتسمى بلوح الطاقة الشمسية (solar panel). إن الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الضوئية (Solar power) وتعتبر مثلاً على استخدام الطاقة الشمسية ..

إن الخلايا الكهروضوئية هو مجال التكنولوجيا والبحوث المتعلقة بالتطبيق العملي في إنتاج الكهرباء من الضوء، لكن وعلى الرغم من ذلك غالباً ما يستعمل على وجه التحديد بالإشارة إلى توليد الكهرباء من ضوء الشمس. توصف الخلايا بالخلايا الضوئية وإن لم يكن مصدر الضوء هو الشمس ومثال ذلك (ضوء المصباح، الضوء الاصطناعي، وغيرها..). وتستخدم الخلايا الكهروضوئية للكشف عن ضوء أو غيره من الإشعاع الكهرومغناطيسي بالقرب من مجموعة ضوئية مرئية، كالكشف عن الأشعة تحت الحمراء، أو قياس شدة الضوء.

(الفولتية الضوئية (Photovoltaics PV))

التي تعرف ب **الخلايا الشمسية** أو الخلايا الفولتضوئية (photovoltaic cells) من خلالها يتم تحويل أشعة **الشمس** مباشرة إلى **الكهرباء**، عن طريق استخدام أشباه الموصلات مثل **السليكون** الذي يستخرج من الرمل النقي. وبصفة عامة مواد هذه الخلايا إما مادة **بلورية** سميكة كالسليكون **البلوري** (Crystalline Silicon) أو **مادة لابلورية** رقيقة كمادة السيلكون اللابلوري- (Amorphous Silicon a-Si) و Cadmium (Telluride CdTe) أو Copper Indium Diselenide (CuInSe², or CIS) او مواد مترسبة كطبقات فوق شرائح من **شبه الموصلات** تتكون من أرسنيد(زرنخيذ) الجاليوم.

وتعتبر طاقاتها شكلا من الطاقة المتجددة والنظيفة، لأنه لايسفر عن تشغيلها نفايات ملوثة ولا ضوضاء ولا إشعاعات ولا حتي تحتاج لوقود. لكن كلفتها الابتدائية مرتفعة مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى. والخلايا الشمسية تولد كهرباء مستمرة ومباشرة (كما هو في البطاريات السائلة والجافة العادية) .

تعتمد شدة **تيارها** على وقت سطوع الشمس وشدة أشعة الشمس، وكذلك على كفاءة الخلية الضوئية نفسها في تحويل **الطاقة الشمسية** إلى **طاقة كهربائية** . يمكن لهذه الخلايا الشمسية إعطاء مئات الفولتات من **التيار الكهربائي** المستمر DC لو وصلت هذه الخلايا علي التوالي. كما يمكن تخزين الطاقة الناتجة في بطاريات الحامضية المصنوعة من **الرصاص** أو القاعدية المصنوعة من معدني **النيكل والكادميوم** . ويمكن تحويل التيار المستمر DC إلى **تيار متردد AC** بواسطة العاكسات ال Invertor للاستعمال وإدارة الأجهزة الكهربائية المنزلية والصناعية العادية.

من ميزتها أنها ليس بها أجزاء متحركة تتعرض للعطل. لهذا تعمل فوق **الأقمار الصناعية** بكفاءة عالية، ولاسيما وأنها لاتحتاج لصيانة أو إصلاحات أو وقود، حيث تعمل في صمت، إلا أن اتساخ الخلايا الضوئية نتيجة التلوث أو الغبار يؤدي إلى خفض في كفاءتها مما يستدعي تنظيفها على فترات.

أكبر محطة توليد كهرباء تعمل حاليا بالخلايا الشمسية توجد في **أسبانيا** وقدرتها ٢٣ **ميغاوات** . ومن المخطط أن يتم بناء أكبر محطة تعمل بالخلايا الشمسية في **أستراليا** بقدرة ١٥٤ ميغاوات. والخلايا الشمسية تعمل في **الأقمار الصناعية** منذ عام ١٩٦٠ كما تزود **محطة الفضاء الدولية ISS** بالتيار الكهربائي.

هناك طريقة أخرى لتحويل **الطاقة الشمسية** إلى **الطاقة الكهربائية** وذلك عن طريق استغلال الحرارة المباشرة لأشعة **الشمس** أو ما يسمى بتقنية الكهرباء الحرارية الشمسية (solar thermal electricity) .

أنواع الخلايا الشمسية

خلية تصنع من السليكون أحادي التبلر (mono crystalline) وهو عبارة عن خلايا قُطعت من بلورة سيليكون مفردة وكفاءة هذا النوع من الخلايا من ١١ إلى ١٦% مما يعني أن امتصاص الخلايا من الإشعاع القادم من الشمس الذي تبلغ قوته ١٠٠٠ وات لكل متر مربع وذلك في يوم مشمس بالقرب من خط الاستواء أي أن الواحد متر مربع من هذه الخلايا يمتص الإشعاع الشمسي بهذه الكفاءة ينتج ما بين ١١٠ إلى ١٦٠ وات.

١. خلايا عديدة التبلر (multy crystalline) وهي عبارة عن رقائق من السليكون كُشِطت من بلورات سليكون أسطوانية ثم تعالج كيميائياً في أفران لزيادة خواصها الكهربائية وبعد ذلك تغطي أسطح الخلايا بمضاد الانعكاس لكي تمتص الخلايا أشعة الشمس بكفاءة عالية وكفاءة هذا النوع من ٩ إلى ١٣%.

٢. الخلايا المورفية أو خلايا الفيليم الرفيع (amorphous) وفيها مادة السيليكون تترسب على هيئة طبقات رقيقة علي أسطح من الزجاج أو البلاستيك لذلك فإن تصنيع هذه الخلايا يتم بتقنية سهلة ولكن كفاءتها أقل من ٣ إلى ٦% وأسعارها أيضاً أقل. وهي مناسبة لتطبيقات من ٤٠ وات إلى ما أقل.

تتسم هذه المنتجات بأن الخلايا مدعمة بإطار من الألومنيوم للحماية وأيضاً بزوج من الدايدود للحماية الكهربائية.

تطبيقات استخدام الخلايا في مجال الاتصالات عن بعد (شبكات الموبايل) في المؤسسات الضخمة - الحماية الكاثودية - مضخات المياه - أنظمة الإضاءة.

ثانياً أجهزة التحكم في الشحن (battery charge controllers) لأن استمرار شحن البطارية بعد تمام شحنها يعرضها للتلف وأيضاً سحب الشحن من البطارية عند قرب تفريغ البطارية يتلفها أيضاً لذلك يجب وجود متحكم يعمل علي فصل البطارية بمجرد ان يتم شحنها ووقف عملية سحب الفولت منها. وهذه المتحكمات

موديلات تتراوح بين: ١- ٨ امبير (١٢ فولت الي ٢٤) حيث يستخدم في أنظمة الأضاءة الصغيرة ونظم الخلايا المنزلية وأيضاً يستهلك ثمن ملي امبير. ٢ يتحكم في بطارية جهدها ١٢ فولت الي ٢٤ وشدة التيار ١٠ امبير يستخدم في التطبيقات

الخفيفة المتوسطة. ٣- متحكم التطبيقات المتوسطة ٣٠ امبير وهو مزود بشاشة يستخدم في اضاءة الشوارع والاستخدامات التجارية وأيضاً أنظمة الحماية ٤- متحكم ٩٦٠ امبير يستخدم في مقويات موجات الميكروويف (أبراج تقوية شبكات المحمول)

ان إستخدام مصادر الطاقة المتجددة قد إزداد في السنوات الأخيرة بشكل مطرد، سواء كانت تلك الطاقة المستمدة من الموارد الطبيعية "المتجددة" أو الطاقة التي لا تنفذ "الطاقة المستدامة" مثل إستخدام طاقة الرياح والطاقة الكهرومائية من إندفاع الأنهار عبر السدود وطاقة المد والجزر وطاقة الأمواج وطاقة الرياح وطاقة حرارة الأرض والطاقة الشمسية والوقود النووي.

حيث أن إنخفاض مخزون الوقود الأحفوري مثل الفحم والبتروول والغاز الطبيعي هو الذي أدي إلي الإهتمام بهذه الموارد في الأساس، ولكن مع الوقت قد بدأت الدول النامية أيضا في الإهتمام بمصادر الطاقة المتجددة، سواء كان السبب هو ترشيد الموارد الطبيعية التي تمتلكها مثل البتروول والغاز الطبيعي أو للإستفادة من الظروف الطبيعية الموجودة في تلك البلدان في توليد طاقة نظيفة لا تلوث البيئة وسنحاول في هذا المقال التركيز على أكثر تلك الطاقات المتجددة وهي الطاقة الشمسية.

مكونات نظم الخلايا الشمسية

١. الألواح الشمسية (Solar Panels)

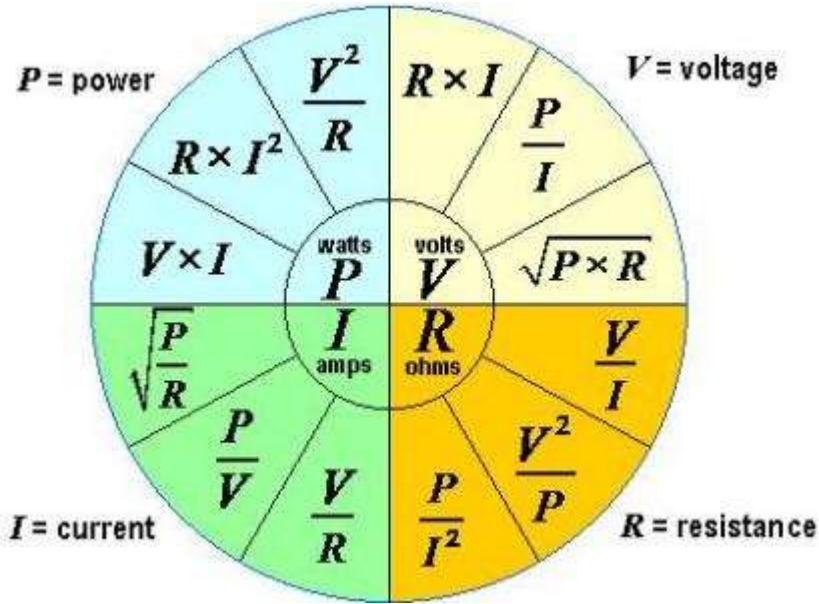
عبارة عن خلايا شمسية مجمعة مع بعضها البعض تنتج كهرباء تيار مستمر DC يمكن أن تستخدم لتشغيل بعض المعدات أو تخزينها في بطاريات يعاد شحنها وإستخدامها أكثر من مرة وتقاس قوة تلك الخلايا بوحدة الواط، فهناك لوحات صغيرة تبدأ من 5 واط أو 15 واط حتى تصل إلي بلايين من الواطات للأبنية الكبيرة والمصانع .

وبالنسبة لغير المتخصصين فأحب أن أوضح قانونان فقط - مشهوران جدا - دون الدخول إلي معادلات معقدة في علم الكهرباء يسموا بقانون أوم وقانون حساب القدرة وينصوا على التالي:

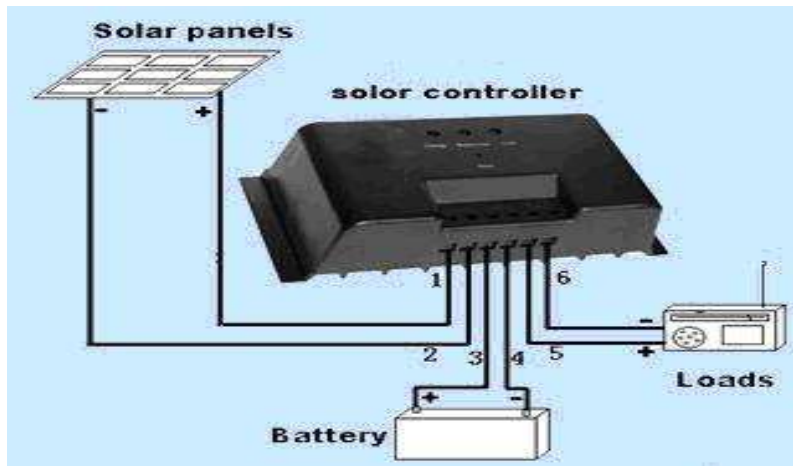
$$(١) \text{ الجهد الكهربائي} = \text{التيار الكهربائي} \times \text{المقاومة}$$

$$(٢) \text{ القدرة} = \text{الجهد الكهربائي} \times \text{التيار الكهربائي}$$

ويمكنكم إستخدام دائرة القوي التالية لمعرفة أي صيغة تحويل تريدونها :



٢. منظمات الشحن (Charger Controllers)



وهي المرحلة الثانية في النظام الشمسي، وتقوم بالعديد من الوظائف كالتالي:

أ- تحتوي على قاطع داخلي (fuse) يقوم بحماية الخلية الشمسية من التلف في حالة تلامس أطرافها معا وحدوث قصر في الدائرة (short circuit) بحيث يقوم الفيوز بالتلف ومنع الضرر الكبير من الحدوث علي الخلايا الشمسية، ويمكن إستبداله بعد ذلك والعمل مرة أخرى وهو رخيص الثمن.

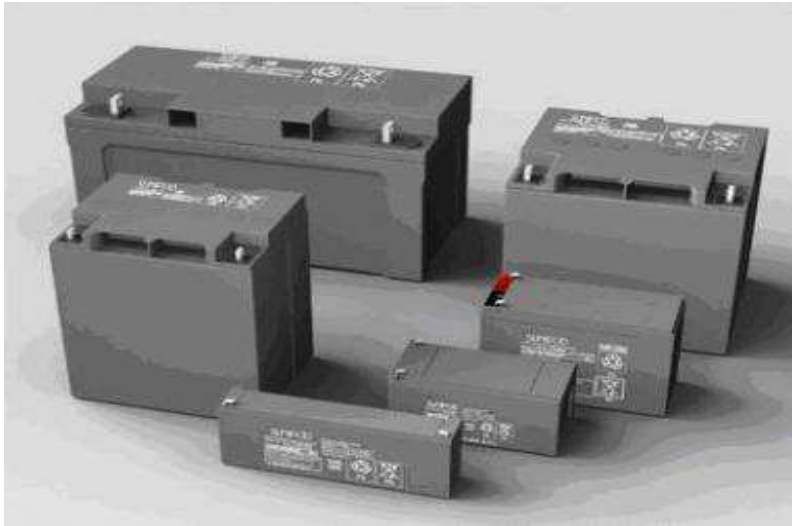
ب- تعمل على تنقية وتثبيت الفولت الخارج من الخلية الشمسية إلى الجهاز الذي يعمل على الجهد المستمر DC لأن قوة أشعة الشمس تزيد وتقل طوال نهار اليوم إما بسبب السحب أو بسبب تغير زاوية الشمس حتي تزول تماما عند الغروب.

ج- تقوم بتنظيم عملية شحن البطاريات حيث أن عملية الشحن تختلف في أليتها عن مجرد توفير مصدر للطاقة المستمرة موصل بالبطارية، حيث تكون قيمة جهد الشحن مساوي لقيمة البطارية وقيمة تيار الشحن تساوي تقريبا 15% من التيار الذي تسعه البطارية، وإذا زادت تلك النسبة بكثير فستحدث عملية شحن سريع للبطارية تؤدي إلي إضعافها وإستهلاكها بسرعة مع مرور الوقت، وإذا قلت تلك النسبة بدرجة كبيرة فسيتم شحن البطارية في وقت طويل وبشكل بطئ جدا.

د- تعمل على ضمان عدم رجوع تيار كهربى من البطارية إلي الخلية مرة أخرى لأنه في حالة فصل الحمل وفي ظل عدم وجود منظم للشحن، فإن الخلايا الشمسية يمكن إعتبارها حمل يعمل على سحب التيار من البطارية إلي الخلايا بشكل عكسي مرة أخرى مما يعمل على إتلافها.

٣. البطاريات (Batteries)

وهي الوحدة المسئولة عن تخزين الطاقة وتفريغها عند الحاجة - أي أن لها وظيفة مزدوجة - ويمكن أن نشبهها بالبالونة التي تستطيع إدخال الهواء بداخلها لتعبئتها تحت ضغط خارجي أو فتح فوهتها ليخرج الضغط الداخلي إلي الخارج مرة أخرى .



وبالطبع هناك العديد من أنواع البطاريات ولكن غالبية البطاريات المستخدمة مع الأنظمة الشمسية تكون من النوعية ذات الحمض والألواح الرصاصية-Lead Acid، وغالبية البطاريات المستخدمة لهذا الغرض تكون في حدود 12 فولت أو 24 فولت. وللتعامل مع البطارية تحتاج لمعرفة متغيران على الأقل من أصل ثلاثة متغيرات هم الجهد الكهربائي ويقاس بالفولت (Volts) والتيار ويقاس بالأمبير (Amps) والقدرة وتقاس بالواط (Watts) كما تم ذكرهم من قبل.

ويمكن توصيل البطاريات مثل نفس طريقة توصيل الخلايا الشمسية للحصول على قيم جهد وتيار مختلفة.

ويتم الإشارة إلي البطارية بعدد الأمبيرات في الساعة (Ampere Hours (Ah وتسمى بسعة البطارية Battery Capacity فعلي سبيل المثال إذا قرأت البيانات على البطارية كالتالي 12 volt 19Ah فإن هذا يعني أن تلك البطارية تستطيع توفير 19 أمبير لمدة ساعة واحدة أو 1 أمبير لمدة 19 ساعة قبل الحاجة إلي إعادة شحنها مرة أخرى كما يمكنك - من الناحية النظرية- أن تشحنها في ساعة واحدة إذا أعطيتها 19 أمبير أو شحنها في ساعتان إذا أعطيتها 9.5A وهكذا

الفصل الثاني

المواد النانوية

تعد تقنية الاغشية الرقيقة واحدة من أهم التقنيات التي ساهمت في تطوير دراسة اشباه الموصلات واعطت فكرة واضحة عن العديد من الخصائص الفيزيائية . ويطلق عادة مصطلح الاغشية الرقيقة على طبقة أو عدة طبقات من ذرات معينة قد لايتعدى سمكها واحد مايكرون ناتجة عن تكثيف الذرات أو الجزيئات والتي تمتلك خواص فريدة هامه تختلف عما إذا كانت عبارة عن جسيم سميك كالصفات الفيزيائية والهندسية وعلى توازن تركيبها المايكروي ، ولقلة سمك هذه الاغشية وسهولة تشققها لذلك ترسب على مواد أخرى تستخدم كقواعد ترسيب ويعتمد نوع القاعدة على طبيعة الاستخدام والدراسة مثل الزجاج و الكوارتز و السليكون و الالمنيوم للاغشية الرقيقة استعملات صناعية متعددة إذ تدخل في تركيب الأجهزة الإلكترونية بشكل مقاومات و متسعات و ترانزسترات وغيرها وتعد أساسا لتصنيع الخلايا الشمسية والضوئية ، كما تدخل في صناعة الكواشف الكهرو بصرية ضمن مديات طيفية محدده ولها كثير من التطبيقات .

إن الأغشية الرقيقة المحضرة من طبقة أو عدة طبقات من الذرات على سطوح زجاجية أو معدنية أو بلاستيكية لايتعدى سمكها أحيانا مايكرون واحداً ، سواء أكانت تلك الأغشية المحضرة مشوبة أم غير مشوبة ، وفي حالة الحاجة إلى أغشية شفافة محضرة بدرجة حرارة عالية عندها تستخدم السطوح الزجاجية (الشرائح الزجاجية) بدلاً من السطوح البلاستيكية والمعدنية .

إن استخدام الخلايا الشمسية في العديد من التطبيقات لتوليد الطاقة 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 ،

Bi_2O_3 ، Cu_2S

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 . ومن الطرق الفيزيائية لترسيب الاغشية الرقيقة :

١. طريقة التبخير الحراري في الفراغ **Thermal Evaporation In Vacuum**
٢. طريقة الترنيذ **Sputtering Method**

و الطرق الكيميائية **Chemical Methods** وتشمل عدة طرق منها :

١. طريقة الترسيب الكهربائي (أغشية الكاثود) **Electrolic Deposition - Cathodic films**
٢. طريقة الترسيب الكهربائي (أغشية الأنود) **Electrolic Deposition -Anodic films**
٣. طريقة الترسيب الكيميائي الحراري **Chemical Spray Pyrolysis**

هناك طريقتين عامتين لإنتاج المواد النانوية :

- ١- تبدأ من المواد في حالتها الطبيعية bulk ومن ثم يتم تكسيدها أو تصغيرها إلى أجزاء صغيرة جدا "ضمن مقياس النانو"، هذه الطريقة تسمى top-down من الأعلى إلى الأسفل
 - ٢- عكس الطريقة الأولى والتي تبدأ من الذرات أو الجزيئات التي يتم فصلها عن بعض ومن ثم تجميعها لتصل إلى مقياس النانو، وهذه الطريقة تسمى bottom-up من الأسفل إلى الأعلى
- معظم المصنعين يهتمون بالتحكم في الآتي عند صناعتهم للنانو:

١- حجم الجزيئات : **particle size** فالحجم مهم عندما تتعامل مع المواد النانوية، فمثلا السيليكون النانوي عندما يكون حجم الجزيئات ١نم "١نانو متر" فإن السيليكون يشع أزرق بينما إذا كان حجم جزيئات السيليكون نانومتر مكعب" فإنها تشع أزرق وما كان بين المقياسين فإنه يشع أخضر على عكس المواد عندما تكون "bulk في حالتها الطبيعية" فالحجم غير مهم ي لا تتغير خدائص المادة مع اختلاف حجمها.

٢- شكل الجزيئات : **particle shape** المقصود بذلك (سداسية – كروية – ثلاثية – ...) ولذلك أهمية في المواد النانوية حيث إن التغيير في الشكل يؤدي إلى تغيير خصائص المادة.

٣- توزيع الجزيئات : **size distribution** وتكمن أهميته في أنه يحدد خواص المواد أي هل التوزيع منتظم أم غير منتظم وهل الجزيئات مستقرة أم لا، فكما ذكرنا عن السيليكون في حجم الجزيئات أنه يشع في المقادير المذكورة لكن لا يتم ذلك إلا إذا كانت جزيئاته منتظمة “متوزعة بانتظام” لكن إن لم تكن كذلك فإنها لا تشع والعلم الآن يبحث حول كيفية تثبيت الجزيئات “جعلها منتظمة دائما”.

٤- تركيب الجزيئات : **particle composition** مثال “ذرة كربون وذرتين هيدروجين أي الجزيئات أو الذرات المستخدمة في تركيب هذا الجزيء”.

٥- درجة تجمع الجزيئات : **degree of particle agglomeration** وهذا يعني “أن الجزيئات متباعدة أو متقاربة”.

١. أولاً: طريقة **top – down**

كما ذكرنا في بداية الموضوع تعريف هذه الطريقة وهي أن تبدأ بتقطيع المواد **bulk** حتى تصل إلى قطع نانوية ضمن المقياس النانوي، ومن الطرق التي نستخدمها لتصغير المواد **bulk** إلى قطع نانوية:

١- **طريقة الطحن : milling** وهذه طريقة ميكانيكية تنتج مواد نانوية على شكل مسحوق “بودرة” حيث يتم وضع المادة تحت طاقة عالية جداً وطحنها عن طريق كرات مصنوعة من الفولاذ تتحرر إما بشكل كوكبي أو اهتزازي أو رأسي . ويمكن صنع بودرة يصل حجمها ما بين ٣ – ٢٥ نانو .

٢- **طريقة الحك أو الحفر : etching** وهذه الطريقة وتكون إما بطريقة كيميائية أو بطريقة إلكتروكيميائية، لنمثل على هذه الطريقتين بعنصر السيليكون **silicon**، فالطريقة الكيميائية يتم أخذ سيليكون ذات سمك سخيّف جداً ووضعها في مواد كيميائية مثل **HF** أو غيرها التي تقوم بحك شرائح السيليكون ثم تخرج جزيئات السيليكون فتكون على السطح ثم توضع هذه الشرائح في أي محلول تريد مثل التيترا هيدرو فوران أو الميثانول أو ... بعد وضعها في المحلول وضعها في جهاز الموجات فوق صوتية لكي تسقط جزيئات السيليكون في المحلول وتتعلق فيه وهذه صورة عن طريق المجهر الإلكتروني لشرائح السيليكون

٣- **طريقة الاتصال الليزري** : يتم استخدام ليزر نبضي ذو طاقة عالية مركز على هدف صلب "المادة في حالة "bulk وموضوع في غرفة مفرغة من الهواء فيتفاعل شعاع الليزر مع الهدف فتتطاير الجزيئات مكونة بلازما وتترسب على القاعدة فتتكون أفلام رقيقة .

أول مرة استخدمت هذه الطريقة كان في عام ١٩٦٠م باستخدام ليزر الياقوتي إلا أن الأفلام الرقيقة المنتجة أصبحت ملوثة ومع الدراسات تم تحسين هذه الطريقة.

٤- **طريقة التفتيل : sputtering** وتستخدم في صنع الأفلام الرقيقة حيث توضع المادة bulk تحت ضغط منخفض جدا مفرغ من الهواء "إذا قل الهواء انخفض الضغط" وبقاعدة باردة معرضة لمجال مغناطيسي، هذه العوامل تؤدي إلى انتزاع الجزيئات من المادة أو تتفلقها لتترسب في قاعدة لتكوّن فلم رقيق ولا بد من وضع غاز لكي يمنع التكتلات .

ثانيا : طريقة bottom – up

كما ذكرنا سابقاً هذه الطريقة تبدأ من الأسفل "من الذرات" فتقوم بفصلها ثم تجميعها لتصل إلى مرتبة النانو، ومن الطرق المستخدمة في هذه الطريقة:

١- **طريقة السول – جل : sol – gel** وهذه الطريقة تمر بطورين أولاً طور السائل sol وبعد فترة تتبخر المادة وتتحول إلى طور الجل gel لذلك سمية هذه الطريقة بطريقة السول – جل، تستخدم هذه الطريقة في صنع قضبان ضوئية تصلح لأن تكون وسط ليزري وتم صنع قضبان ليزرية من مواد نانوية لكن الجزيئات غير مستمرة والدراسات جارية لجعلها مستقرة، أيضاً تستخدم في عمل وتصنيع الأغشية الرقيقة thin film وتمتاز بقلة تكلفتها بالمقارنة بالطرق الأخرى في تصنيع هذه الأغشية وكذلك تتميز بإمكانية إنتاج أغشية رقيقة بمساحات كبيرة نسبية وبسبك يتراوح بين ١ نانو متر وحتى ١ ميكرون .

٢- **طريقة aerosol** : وهذه تشبه طريقة السول – جل في أغلب الأشياء إلا أنها تبدأ بطور الغاز وتنتهي بطور السائل.

٣- **طريقة chemical vapour deposition** إختصاراً : CVD

و تحضر المواد النانوية على أشكال مختلفة منها:

١. النقاط الكمية : Quantum Dots

وهي عبارة عن نانوى شبه موصل ثلاثى البعد ، تتراوح أبعاده ما بين ٢ إلى ١٠ نانومتر. وعندما يكون قطر النقطة الكمية ١٠ نانومتر فإنه يمكن صف ٣ ملايين نقطة كمية بجوار بعضها البعض بطول يساوى عرض إصبع إبهام الإنسان

٢. الفولورين Fullerene :

جزيئات نانوية مكونة من ذرات كاربون مترابطة ثلاثيا تعطي شكل كريات لها بناء يماثل الجرافيت , ولكن بدلاً من الشكل السداسي النقي, فإنها تحتوى على أشكال خماسية (و احتمال سباعية) من ذرات الكاربون, مما يؤدي لانتشاء الطبقات إلى كريات أو أسطوانات ، و يعد أكثر الفولورينات شهرة هو الجزيء C60 ، حيث تترتب الـ ٦٠ ذرة كاربون على رؤوس مجسم عشريني ناقص . وشكل المجسم العشريني الناقص يشبه كرة القدم ، و يتميز بأنه جزيء ممغنط و غير قابل للاحتكاك. وتم اكتشاف الفولورين قادراً عام ١٩٤٤ عندما لاحظ أوتوهان وجود سلاسل من الكاربون أثناء إجرائه لتجارب كانت تستهدف تكوين ذرات ثقيلة من ذرات أخف عن طريق امتصاصها للنيوترونات . إذ أن بحثه كان منصّباً في الكشف عن الفروق الصغيرة في الوزن بين بعض ذرات العناصر الثقيلة التي يقوم بتبخيرها في قوس كاربوني . وأثناء مشاهدته لتلك النتائج ، لاحظ أن القوس أنتج أيضاً سلاسل من الكاربون كان لها (قديراً) نفس الوزن الجزيئي للمعدن، وحيث أنه لم يكن مهتماً بسلاسل الكاربون فقد دون ملاحظاته بشأنها في نهاية تقريره ثم انطلق وراء الهدف الرئيسي من بحثه ولم تتم متابعة النتائج التي توصل إليها بشأن سلاسل الكاربون إلا في عام ١٩٨٥م عن طريق هارولد كروتو و معه كل من روبرت كيرل و ريتشارد سمالي الذين توصلوا إلى أن سلاسل الكاربون تلك ما هي إلا صورة جديدة من صور الكاربون.

٣- الكرات النانوية Nano balls

تنتمي الكرات النانوية إلى فئة الفلورينات (C_{٦٠}) ، مع الاختلاف في التركيب شيئاً قليلاً وذلك لأنها متعددة القشرة، وخواصها المركز ، وبسبب تركيبها الذي يشبه البصل فقد أطلق عليها العلماء اسم Bucky أى البصل. وقد يصل قطرها إلى ما يزيد عن ٥٠٠ نانومتر.

٤- الجسيمات النانوية Nanoparticles

في تقنية النانو يعرف الجسيم بأنه أصغر وحدة (شيء) له الخواص الكيميائية والفيزيائية للمادة الحجمية. والجسيمات النانوية لها أبعاد تتراوح بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر

٥- الأنابيب النانوية Nanotubes

المواد المستخدمة في تقنية النانو تخضع لشرط أساسي ، هذا الشرط هو مقياس النانو ١-١٠٠ نانومتر لذلك فإن المواد المستخدمة يجب أن يتم تقطيعها إلى أجزاء لا تزيد أقطارها عن ١٠٠ نانومتر. فالأنابيب النانوية تتكون من خليط من مواد موصلية ومواد أشباه موصلية أسطوانية الشكل مجوفة يتراوح قطر الأنبوب بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر . وكل أنبوبة من هذه الأنابيب تؤدي وظيفة مختلفة عن الأخرى. وأشهر الأنابيب النانوية أنابيب الكربون متناهية الصغر Carbon Nanotubes ، والتي سوف نورد لها مقالاً خاصاً لأهميتها العلمية والتطبيقية.

٦- الأسلاك النانوية Nanowires

وهي عبارة عن أسلاك ذات بعد واحد (شكل ٩)، أقطارها تقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة ، تكون في الغالب نسبة طولها إلى عرضها أكثر من ١٠٠٠ مرة. وتتميز عن الأسلاك العادية (ثلاثية البعد) بقوة التوصيل الكهربى ، نتيجة لحصر

الإلكترونات كميأ فى إتجاه جانبى واحد مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن المستويات العريضة فى المادة الحجمية.

٧- الألياف النانوية Nano fibers

من أشهر الألياف النانوية الألياف المصنوعة من البوليمرات. ويكون عدد ذرات سطح الألياف كبير مقارنة بالعدد الكلى ، وهذا يكسب الألياف خواص ميكانيكية (كالشدة ، والصلابة،...) تؤهلها للاستخدام كمرشحات فى تنقية السوائل والغازات ، وفى العديد من التطبيقات الطبية والعسكرية .

٨- المركبات النانوية Nano composites

وهى عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانوية تكسبها خواصاً مميزة إضافية. فعند إضافة أنابيب نانوية (الكاربون مثلاً) إلى مادة ما ، تزداد خواص التوصيل الكهربى والحرارى لتلك المادة نتيجة لإضافة أنابيب الكاربون النانوية لها. وقد يحدث أيضاً تحسن فى الخصائص الضوئية والميكانيكية (الصلابة ، الشدة) نتيجة لإضافة مواد نانوية معينة لبعض المواد. ومن أشهر المركبات النانوية الموجودة الآن المركبات البوليمرية.

المصادر

١. الخلايا الشمسية ، د. محمد لطفي ، دار اسامة لطباعة والنشر ، دمشق ، ٢٠٠٧ .
٢. توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية ، محمد حمودة ، دار الملايين للطباعة والنشر ، ٢٠٠٩ .
٣. كتاب الطاقة و تحديات المستقبل , إيهاب صلاح الدين – المكتبة الأكاديمية.
٤. الخلايا الشمسية , محرم عبد الكريم ٢٠٠٨ .
٥. مجلة الطاقة و الحياة : مجلة علمية تقنية – العدد الرابع – الربيع (مارس) ١٩٩٥ ف – تصدر عن مكتب المعلومات ودراسات الطاقة / اللجنة الوطنية للطاقة .
٦. مجلة العلم , مقالات أحمد محمد عوف.
٧. معهد الإمارات التعليمي . <http://www.uae.ii5ii.com>
٨. منتدى الحسايا الالكترونية . <http://hasaya.own0.com/t133p20-topic>
٩. منتديات عالم الزين . <http://www.al-zin.com/vb/t111947.html>
١٠. الملتقى التربوي .

<http://www.wepal.net/vb/archive/index.php/t-5721.html>

11. Al-Rawi, S. S. S. J. Shakir, and Y. N. Husan, " Solid State Physics ", Publishing of Mousal University Arabic Version, 1990.
12. Azarenkove, A. N. G. B. Altshuler, N.R. Belashenkov, and S. A. Kozlov, " Fast Non
13. Binuclear Complexes of Ni (Π) and Cu (Π) derived from Aromatic Hydrazones", Asian Journal of Chemistry, V. 19, N. 1, PP. (95-101), 2007.
14. Hassan, A. F. M. SC. Thesis, " Temperature on Response Optical Times of Methacrylate Based Side Chain Liquid Crystal Polymers ", Dept. Phys, Coll. Science, University of Babylon, 1997.
15. Linearity of Solid-State Dielectric Active Media ", PP. (633-655), 2002.
16. Linyang K., and C. Yingxue, "Dark to Bright Optical Responses of Liquid Crystal

17. Ludmlia Ecjertova, " Physics of Thin Films ", Plenum Press, 1977.
18. Mandal, R. S. and L. Mishra, "Synthesis and Characterization of Monocuclear and
19. Martinuzz, S. J. Oualid, D.Sart, and J. Gervais, " Thin Solid Films ", V. 51, PP. (211-217), 1978.
20. Moss, T. S. " Infrared Physics ", PP. (335-336), 1986.
21. Moss, T. S. G. J. Burrel, and B. Ellis, " Semiconductor Optoelectronic ", Chapel RiverPress, London, 1973.
22. Serron, S. A C. M .Haar, and S. P. Nolan, "Organometalics", 16, 5120, 1997.
23. Supported on Solid Surfase Decorated with Proteins ", National University of Singapore, V. 24, PP. (563-567), 2007.
24. Uachen, Z. H. Y. Morimoto, S. Matsunaga, and M. Shibasaki, "Abench - Stable Homodinuclear Ni²⁺ - Schiff Base Complex for Catalytic Asymmetric Synthesis of α - Tetrasubstituted anti - α -, β - Diamino Acid Surrogates", The University of Tokyo, 2008.
25. Viguie, J.C. and J. Mater, " J. Electro chem. ", V. 122, P. 1285, 1977.
26. W. T. Gao and Z. Zheng, "Molecules", 8, 788, 2003.
27. Wang, X. Y. L. Jainfeng, E. Gurarie, S. Fan, T. Kyu, M. E. Neubert, S. S. Keast, and G. Rosenblatt, " History of Liquid Crystal " , APS Journals, V. 157, pp. (72- 81), 2008.
28. Wyckoff, " Crystal Structures ", V. 1, Wiley, New York, 1963.