# خلايا الوقود وتقنية النانو

د. ماهر بن عبدالله العودان

**تعد الطاقة الكهربائية أهم أشكال الطاقة استخداماً، فهي الأساس لدفع وتشغيل العديد من وسائل الحياة الأساسية و التقنية، مثل: السيارات والآلات والحاسبات الآلية و العديد من الأجهزة و المعدات الأخرى. وتشكل طريقة تحويل الطاقة المكيانيكية الناتجة من الاحتراق ـ طاقة كيميائية ـ عن طريق المولدات أكثر الطرق استخداماً لإنتاج الطاقة الكهربائية؛ لتوفر الوقود المناسب أكثر من أي شكل آخر.**

وهناك طرق أخرى لإنتاج الطاقة الكهربائية ولكنها أقل استخداماً، مثل الطاقة الشمسية الحرارية والضوئية، وطاقة الرياح وطاقة الأمواج، والتي يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية ، حيث لا زال البحث جارياً لتحسينها جميعاً .

تمر عملية تحول الطاقة الكيميائية حتى وصولها إلى طاقة كهربائية بمراحل عديدة تتضمن أشكالاً مختلفة من الطاقة، منها : طاقة حرارية وطاقة ميكانيكية. وينجم عن هذا التحول نقص كبير في الكفاءة الكلية؛ لذا فإن الحصول على كفاءة عالية من إنتاج الطاقة الكهربائية يتطلب أقل عدد ممكن من مراحل تغيير أشكال الطاقة ، حيث يعطي التحول المباشر من الطاقة الكيميائية إلى الطاقة الكهربائية أعلى كفاءة. ومن أمثلة هذا التحول المباشر استخدام خلايا الوقود للتحول المباشر إلى الطاقة الكهربائية.

ولزيادة تحسين كفاءة التحول المباشر للطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية باستخدام خلايا الوقود؛ يقوم الباحثون عبر عدة عقود بإجراء الدراسات للبحث عن تقنيات جديدة تخدم هذا الغرض، وقد ظهرت في الآونة الأخيرة بحوث التقنية متناهية الصغر (تقنية النانو)، وذلك لإضافة الكثير من التحسين على خلايا الوقود لخفض التكلفة وتحسين الأداء، مثل زيادة مساحة السطح وإضافة خواص جديدة لأقطاب الخلايا.

## خلايا الوقود

خلايا الوقود عبارة عن أجهزة تقوم بالتحويل المباشر للطاقة الكيميائية المختزنة بالمركبات الكيميائية إلى طاقة كهربائية. فمثلا يتفاعل جزئ الهيدروجين مع ذرة من الأكسيجن: لينتج جزيء ماء وطاقة قد تكون بشكل حرارة مباشرة، كما في تفاعلات الاحتراق، أو قد يستفاد منها بالشكل الكهربائي المباشر (بالإضافة إلى قدر من الحرارة).

بشكل عام: هناك مركبات كيميائية تنتج طاقة كهربائية وحرارية في الوقت نفسه عند أكسدتها وتفاعلها مع الأكسجين، ومن أهم هذه المركبات غاز الهيدروجين وبعض المركبات الهيدروكربونية البسيطة، مثل: الميثانول. وينجم عن تفاعل غاز الهيدروجين مع الأكسجين إنتاج ماء فقط، ولذلك يعد هذا التفاعل من التفاعلات الأقل ضرراً على البيئة، حيث لاينتج عنه مركبات ضارة مثل ثاني أكسيد الكربون أو مركبات تحتوي على أكاسيد النيتروجين. يوضح شكل (١) الأجزاء الرئيسية لخلية الوقود والتفاعلات على كل قطب منها ، حيث تتم كما يلي:

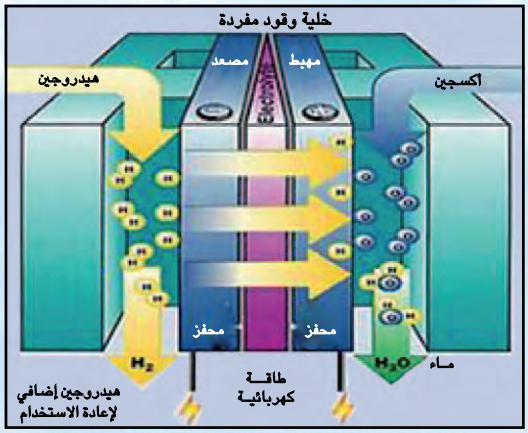
**تأكسد الهيدروجين (في قطب الهيدروجين)**

$$H_2 \longrightarrow 2H^+ \ 2e$$

**اختزال الأكسجين (في قطب الأكسجين )**

$$O_2 + 4H^+ + 4e \longrightarrow 2H_2O$$

تتكون الخلية بشكل عام من قطبين ومحلول كهروكيميائي؛ لنقل الأيونات بين القطبين، باستخدام الهيدروجين، حيث يعد من أهم أنواع الوقود المستخدمة بخلايا الوقود، فضلاً عن ذلك هناك بعض المركبات الهيدروكربونية البسيطة مثل الميثانول الذي قد يستخدم مباشرة لإنتاج الكهرباء، أو يمكن تحويله كيميائياً إلى هيدروجين، ثم إلى طاقة كهربائية بواسطة خلايا الوقود . وبما أن هذا التحول الكيميائي ينتج عنه مواد مثل أول وثاني أكسيد الكربون؛ فإن الناتج من الطاقة الكهربائية يكون أقل بسب انخفاض الكفاءة الناتج من تعدد خطوات تحول الطاقة.




● شكل (١) المكونات الأساسية لخلية الوقود باستخدام الهيدروجين.

تتميز خلايا الوقود عن البطاريات التقليدية في اعتمادها على دمج عنصري الهيدروجين والأكسجين لإنتاج الكهرباء، والتي تحصل الخلية عليهما من مصدر خارجي، ولا تعدان من مكونات خلية الوقود نفسها، وهذا ما يعطي هذه الخلايا الأهمية بالمقارنة مع البطاريات التقليدية التي لها مكونات أساسية لتوليد الطاقة يحدث من خلالها التفاعل الكيميائي لمكونات البطارية لإنتاج الطاقة الكهربائية، وتستمر هذه العملية إلى حين انتهاء المواد الكيميائية المتفاعلة فتتوقف البطارية حتى يتم إعادة شحنها مرة أخرى. وللمقارنة تعمل خلايا الوقود بصفة مستمرة لأنها تعتمد على الهيدروجين والأكسجين الذين يأتيان من مصادر خارجية، كما أن خلايا الوقود في حد ذاتها ليست سوى رقائق مسطحة تنتج كل واحدة منها بحدود فولطاً كهربائياً واحداً، وهذا يعني أنه كلما زاد عدد الرقائق المستخدمة كلما زادت قوة الجهد الكهربائي.

### ● مميزات خلايا الوقود الهيدروجينية

من أهم مميزات خلايا الوقود الهيدروجينية مايلي :

١ـ لا يوجد تلوث حيث أن تفاعل الهيدروجين مع الأكسيجين ينتج الماء، لذا لاتوجد أي عوادم جانبية ضارة على صحة الإنسان والبيئة.

٢ـ كفاءة تشغيلها عالية جداً؛ إذا تم استغلال الطاقة الحرارية المصاحبة؛ لأنها تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بشكل مباشر، مما لا يسبب أي فقد في الطاقة في أي صورة من الصور .

٣ـ هادئة في التشغيل لعدم وجود أي مكونات متحركة.

٤ـ تكلفة صيانتها أقل من الطرق التقليدية لإنتاج الكهرباء.

٥ـ يمكن التحكم في حجمها حسب الطاقة الكهربائية التي تحتاجها للتشغيل.

### ● عوائق انتشار خلايا الوقود

من أهم عوائق انتشار خلايا الوقود التي تُجرى الأبحاث لايجاد حلول لها مايلي:ـ

١ـ التكلفة العالية للإنشاء، مقارنة بالطرق الأخرى لإنتاج الطاقة الكهربائية، فقد تصل تكلفة إنشاء خلايا الوقود عشرة أضعاف تكلفة إنشاء المولدات الكهربائية.

٢ـ صعوبة تخزين الهيدروجين خاصة للتطبيقات المتحركة مثل السيارات.

٣ـ ضرورة تطوير أنظمة متكاملة لتناسب جميع التطبيقات مثل إنتاج الطاقة بالأجهزة المتحركة، أو الصغيرة، أو محطات توليد الطاقة الكبيرة، حيث إن كل منها يتطلب منظومة متكاملة للوصول إلى أعلى كفاءة ممكنة.

٤ـ تتطلب خلايا الوقود الخاصة بغاز الهيدروجين أن يكون الوقود بدرجة عالية من النقاوة نسبياً.

## تطوير خلايا الوقود

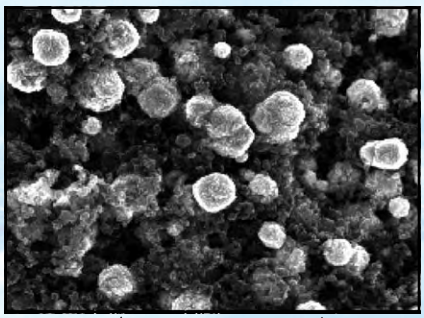
تلعب التقنيات المتناهية الصغر دوراً مهما في تطور خلايا الوقود ليتم التغلب على المعوقات سابقة الذكر وزيادة كفاءة عملها. ومن أهم النقاط البحثية التي تخص خلايا الوقود هي الأبحاث الخاصة بتطوير الأقطاب بنوعيها المصدر والمهبط والتي يحدث عليها تفاعلات الأكسدة والاختزال.

يعد البلاتين من أهم المواد المستخدمة لمحفزات تفاعلات الأكسدة والاختزال؛ لما له من خواص، منها أنه يعطي أقل فرق جهد لبدء التفاعل في القطبين وخاصة قطب الهيدروجين. وهناك العديد من مجالات تطوير أداء وكفاءة المحفز على الأقطاب باستخدام تقنية النانو من أهمها مايلي :

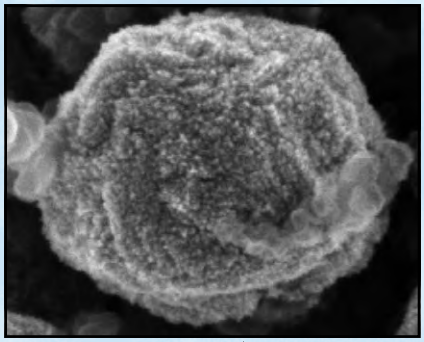
### ● زيادة سطح التفاعل

يمثل البلاتين ـ من المعادن الثمينة ـ جزءً كبيراً من تكلفة الخلية، لذا فإن تخفيض الكمية اللازمة منه للتفاعل مع الحفاظ على سرعة وكفاءة الخلية يعد أمراً مهماً. وبما أن تفاعلات الأكسدة والاختزال تكون فقط على سطح البلاتين، وما تحته يكون بدون استخدام؛ فإنه كلما قلت نسبة مساحة السطح إلى كمية البلاتين المستخدمة زادت تكلفة الخلية . كذلك تتناسب سرعة التفاعل مع مساحة السطح فكلما زادت المساحة زادت سرعة التفاعل وانخفضت بالتالي التكلفة، وعليه من الحلول لخفض التكلفة يتمثل في وضع جبيبات دقيقة بحدود ١٠٠ نانومتر من البلاتين بحيث تزيد من مساحة السطح وفي الوقت نفسه تقل كمية البلاتين لإنتاج الكمية نفسها من الطاقة. وبهذه الحالة تزداد سرعة التفاعل عن طريق زيادة مساحة السطح، وتقل تكلفة إنتاج الخلية.

ومن الطرق المستخدمة لإنتاج تلك الحبيبات طرق كهروكيميائية لترسيب البلاتين من أملاحه داخل منظومة كربونية، حيث يكون الترسيب خلال زمن وتيار كهربائي محددين للوصول إلى المقاس المناسب من الحبيبات كما هو مبين بالشكل (٢) .



● شكل (٢ـأ) صورة بالمجهر الإلكتروني لحبيبات البلاتين المرسبة كهروكيميائيا بمنظومة من الكربون لجمع التيار.

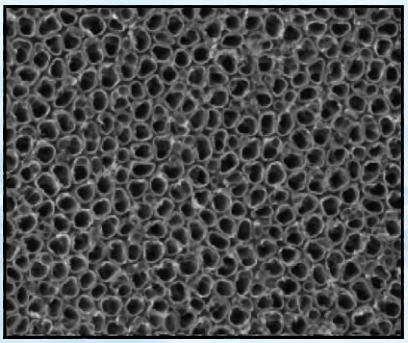


● شكل (٢ـب) تكبير لحبيبة واحدة بين المسام الداخلية.

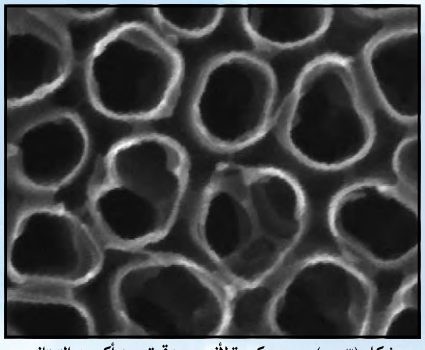
## ● منع اندماج الحبيبات

هناك عامل آخر ـ كذلك ـ يحد من كفاءة الخلية هو أن صغر حجم الحبيبات يؤدي إلى سهولة انتقالها من موقع إلى آخر داخل منظومة مجمع التيار (المنظومة الكربونية) خاصة عند درجات حرارة عالية من التشغيل. يؤدي هذا الانتقال إلى تكوين حبيبات أكبر، وبالتالي تقل مساحة السطح، والأهم من ذلك تقل التوصيلية للقطب، وبالتالي تتكون مناطق من البلاتين لا يمكن لها الاتصال بالدائرة المتكاملة، ولذا يفقد القطب جزء من البلاتين.

ومن الطرق المستخدمة لمنع اندماج الحبيبات وجود تركيب أو سطح متماسك مع منظومة تحتية تمنعه من الانتقال، وفي الوقت نفسه يجب أن يحتوي هذا التركيب على مساحة سطح كبيرة جداً. ومن أمثلة تلك التركيبات أنابيب دقيقة تكون مرتبة بأبعاد متساوية تقريبا ومفتوحة من طرف واحد، بينما يكون الطرف الآخر ثابت بسطح الفلز (التيتانيوم في هذه الحالة)، شكل (٣). ويتصف هذا التركيب بمساحة سطحية كبيرة جداً، وتوصيلية داخلية أعلى بكثير من منظومة الكربون، ويكون الاتصال مباشر وبقدرة عالية. ومن الممكن كذلك ترسيب البلاتين داخل هذه الأنابيب، بحيث يقوم بتسهيل التفاعل حتى عند درجات حرارة عالية، وذلك لوجود حواجز من أكسيد التيتانيوم تمنع اندماج هذه الحبيبات.



● شكل (٣ـأ) منظومة أنابيب دقيقة من أكسيد التيتانيوم مكون فوق سطح من التيتانيوم.



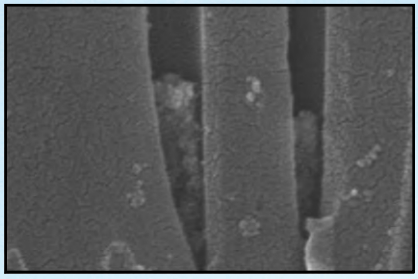
● شكل (٣ـب) صور مكبرة لأنبوب دقيق من أكسيد التيتانيوم.

## ● تحسينات أخرى

كذلك هناك العديد من التحسينات التي تضيفها تقنية النانو إلى خلايا الوقود، تشمل تحسين عامل المحفزات، وكذلك تحسين تكوين منظومة الأقطاب مع الوسط الإلكتروليتي. وإجمالاً فإن العديد من الشركات بدأت بإنتاج خلايا الوقود المحسنة بتقنية النانو، إذ ظهرت الكثير من خلايا الوقود ذات التطبيقات المختلفة مثل السيارات والحاسبات وحتى الهواتف الشخصية أو المحمولة بالإضافة الى التطبيقات العسكرية. وبهذه الحالة فإن المستخدم يقوم بشراء الوقود المناسب للخلية عند نفاذه، كما يستطيع المستهلك استبداله بحاوية أخرى بدلا من إعادة الشحن كما هو معمول بالبطاريات.

## الخلاصة

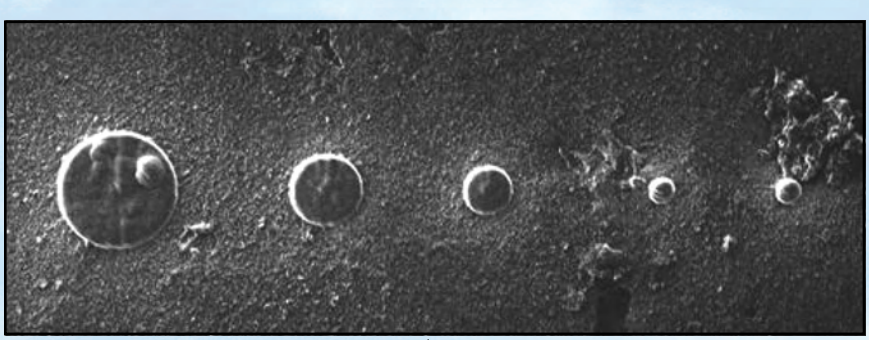
تهدف التطبيقات السابقة إلى تحسين خلايا الوقود باستخدام تقنيات النانو في أجزاء من الخلية مع الحفاظ على الحجم المعتاد لتلك الخلايا، والذي قد يصل إلى الأمتار. كذلك هناك تطبيقات عدة لتقنية النانو بتكوين خلية ذات حجم مصغر جداً بمقياس المايكرومتر بحيث تتكون أجزاؤها ـ وخاصة الأقطاب ـ بمقياس النانومتر. يوضح الشكل (٤) صورة بالمجهر الإلكتروني لأقطاب خلية وقود متكاملة بحجم المايكرومتر.



● شكل (٤) صورة بالمجهر الإلكتروني لأقطاب خلية وقود متكاملة بمقياس المايكرومتر.

كذلك يبين الشكل (٥) صورة من مجهر إلكتروني لخلايا وقود دقيقة متكاملة تقوم بإنتاج التيار الكهربائي متى ما وصل إليها الهيدروجين.

وتقوم هذه الخلايا بتوليد الطاقة الكهربائية للتطبيقات الدقيقة مثل أنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة. وفي هذه الحالة فإن الخلايا تكون متكاملة مع النظام لتقليص كمية الحرارة وزيادة كفاءة الخلية. وخفض تكلفة الإنتاج (خاصة مع الكميات الكبيرة المنتجة من النظام المتكامل). كذلك تقوم صناعة خلايا الوقود الدقيقة على تكوين الخلايا وتصنيعها بشكل طبقات متراصة، كل طبقة يتم ترسيبها أو تكوينها حتى يتم تكوين الطبقات كلها من الخلية والتي قد تصل إلى ١٠ طبقات بهدف استخدامها في العديد من العمليات المختلفة.



● شكل (٥) صورة بالمجهر الإلكتروني لأقطاب خلية وقود كاملة بمقياس النانو.