frontiers FOR YOUNG MINDS

الأرض ومواردها
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 25 أكتوبر 2021
doi: 10.3389/frym.2015.00009-ar

الخلايا الشمسية البلاستيكية: سر المادة المميزة المضافة

Jacobus J. van Franeker and René A. J. Janssen
Dutch Polymer Institute, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Netherlands

المراجعون الصغار:
FRENCH AMERICAN INTER-NATIONAL SCHOOL
العمر:12-13

تعتمد الخلايا الشمسية على ضوء الشمس الذي توفره الطبيعة بشكل مجاني في عملية توليد الكهرباء، إلا أن الكهرباء المتولدة بالطاقة الشمسية لا تعتبر مصدرًا رخيصًا في الوقت الحالي إذ إن الألواح الشمسية تعتبر باهظة الثمن، ولكن تخيل أنه بإمكاننا تقليل التكاليف عن طريق طباعة الألواح الشمسية كما نطبع الصحف! يمكننا تحقيق ذلك من خلال الخلايا الشمسية البلاستيكية، ونوضح في هذا المقال آلية العمل الأساسية للخلايا الشمسية البلاستيكية التي تعتبر ابتكارًا حديثًا ومن ثم نسلط الضوء على كيفية تحقيق زيادة مذهلة تصل إلى ثلاثة أمثال في كفاءة الطاقة الشمسية، وذلك من خلال وجود مادة خاصة تضاف إلى حبر الطباعة، ورغم أن وظيفة هذه المادة المضافة الخاصة تبدو كالسحر؛ فإننا، كعلماء، نعي جيّدًا أن السحر الحقيقي نادر الحدوث، فكان علينا البحث عن الأسباب الحقيقة وراء هذه الزيادة وآلية العمل الكامنة. ولقد تقصينا من خلال تحقيقاتنا الأخيرة هذا الموضوع وأوردناه في هذا المقال حيث نصف كيف استطعنا أن نكشف سر هذه المادة المضافة.

كهرباء منخفضة التكلفة بالطاقة الشمسية!

أنت تقرأ الآن هذا المقال على حاسوبك الذي يعمل بالكهرباء؛ ولكن من أين تأتى تلك الكهرباء؟ في عام 2013، تم توليد حوالي 67% من الكهرباء المستخدمة في الولايات المتحدة إما عن طريق

احتراق الفحم أو الغاز الطبيعي [1]. ولكن ماذا لو نفدت إمدادات الفحم والغاز الطبيعي؟ وماذا عن التلوث والتغير المناخي الناتجين عن احتراق الغاز والفحم؟ اليوم لدينا مصدر جديد أكثر أمانًا وصديق للبيئة: إنه الشمس! والأجمل من كل ذلك أنه مجاني! دائما ما تشرق الشمس وتمد الأرض بالطاقة في هيئة ضوء، حتى في الطقس المغيم، وتعتمد آلية عمل الألواح الشمسية على تحويل هذه الطاقة الضوئية إلى كهرباء إلّا أن الألواح الشمسية لا زالت باهظة التكلفة. فلو كانت تكلفة الألواح الشمسية أقل لكان من الممكن تعظيم الاستفادة منها في الحصول على كهرباء منخفضة التكلفة!

طباعة الخلايا الشمسية البلاستيكية

اكتشف العلماء مؤخرًا طريقة حديثة لإنتاج الألواح الشمسية؛ عن طريق طباعتها! يفكر الأغلب في طباعة أشياء مثل الكتب، ولكن بفضل أنواع خاصة من الطابعات، يمكننا طباعة أشياء مصنوعة من البلاستيك أيضًا. يُصنع البلاستيك من **البوليمرات**، وهي جزيئات طويلة للغاية. وتبدو البوليمرات تحت المجهر مثل السباغيتي المطبوخة، ولكنها في الواقع أصغر مليون مرة. ففي حقيقة الأمر لا تتطلب طباعة المواد البلاستيكية سوى استبدال خرطوشة **الحبر** في طابعتك المنزلية بالحبر البلاستيكي، والحبر البلاستيكي عبارة عن مزيج من بوليمرين مذابين في سائل. وعند الطباعة، يجف السائل وتشكل البوليمرات غشاءًا رقيقًا، وتستخدم الخلايا الشمسية نوعًا خاصًا من البوليمر القادر على تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء.

يمكن طباعة الخلايا الشمسية البلاستيكية على لفات كبيرة من الرقائق المرنة. مؤخرًا، تمت طباعة ألواح شمسية بطول 100 متر [2]. وتستطيع هذه الألواح الشمسية منخفضة التكلفة أن تحول حوالي 1.5% من طاقة الضوء الشمسية فقط إلى الكهرباء. ولا زالت هذه الكفاءة منخفضة مقارنة بالألواح مرتفعة التكلفة المتاحة اليوم، إذ إن هذه الألواح قادرة على تحويل 15-20% من الطاقة الشمسية إلى كهرباء، ولكن المستقبل يبدو واعدًا، إذ قد بدأ بالفعل تصنيع خلايا شمسية بلاستيكية صغيرة بكفاءات أعلى بكثير في المختبرات حول العالم، تصل إلى حوالي 12% [3]. وتعتبر إحدى الطرق المستخدمة لزيادة هذه الكفاءة هي إضافة **مادة مضافة** خاصة إلى حبر الطباعة قبل بدء عملية الطباعة. عثر على هذه المادة بمحض الصدفة [4]، ولكن إذا أردنا رفع كفاءة الألواح الشمسية البلاستيكية فيجب علينا أن نعرف آلية عمل هذه المادة المضافة. إلّا أن فهم آلية عمل الخلايا الشمسية البلاستيكية ليس بالأمر اليسير. فقد عكف الكثير من العلماء على العمل لسنوات طويلة لاكتشاف هذا الموضوع. وفيما يلي نشرح أهم النتائج التي توصلوا إليها لتقديم خلفية عن الموضوع، ولكن إذا شعرت أنك مهتم أكثر بمعرفة أسرار المادة المضافة الخاصة فيمكنك تخطي هاتين الفقرتين لتنتقل إلى التحقيقات التي قمنا بها والنتائج المفصلة الناتجة عنها.

البوليمر
(POLYMER)

جزيء طويل يشبه السباغيتي المطبوخ، لكنه أصغر بمليون مرة. تحتوي المواد البلاستيكية على بوليمرات.

الحبر
(INK)

مزيج من المواد السائلة والصلبة التي يمكن طباعتها أو طلاؤها على سطح. أثناء الطباعة أو الطلاء، تتبخر السوائل وتبقى المواد الصلبة على السطح.

المادة المضافة
(ADDITIVE)

المادة المضافة هي مادة كيميائية صغيرة يمكن إضافتها إلى الحبر ولكنها لا تبقى في الخلية الشمسية بعد جفاف الحبر.

الطبقة النشطة
(ACTIVE LAYER)

أهم طبقة في الخلايا الشمسية البلاستيكية. هي الطبقة التي يتحول عندها ضوء الشمس إلى شحنة كهربية.

كيف تحول الخلايا الشمسية البلاستيكية الضوء إلى الكهرباء؟

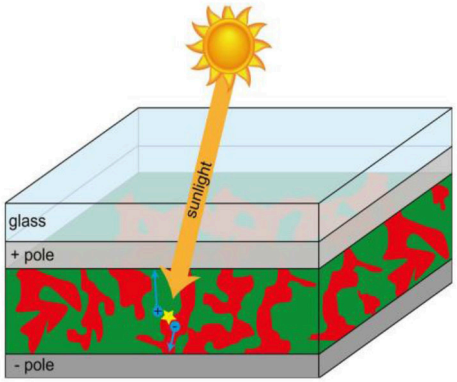
هذا سؤال مهم تتطلب الإجابة عنه الاطلاع على كيفية صنع الخلايا الشمسية البلاستيكية في الأساس. تتكون الخلايا الشمسية البلاستيكية من طبقة بلاستيكية توجد على زجاج أو على رقائق معدنية مرنة. وفي المختبرات نستخدم ألواحًا زجاجية ذات وصلة كهربائية شفافة [القطب الموجب (+)]. وفوق هذه الوصلة، نضع الحبر الخاص **بالطبقة النشطة**، وهي جزء الخلية الشمسية الذي يحول ضوء الشمس إلى كهرباء. يحتوي هذا الحبر على بوليمرين، أحدهما طويل أخضر والآخر أحمر قصير. تشكل البوليمرات طبقة مختلطة، كما هو موضح في الشكل 1. نضع طبقة معدنية تعمل كقطب

سالب (−) فوق تلك الطبقة، ثم نقلب مجموعة الطبقات بأكملها رأسًا على عقب بحيث يمكن لأشعة الشمس أن تسطع من خلال الزجاج إلى الطبقة النشطة.

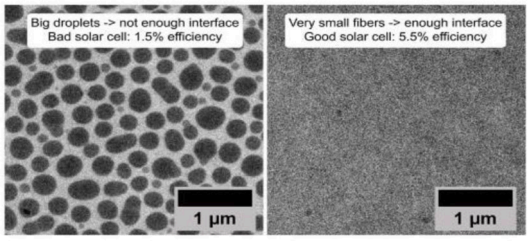
إن الهيكل المرسوم للبوليمرات الحمراء والخضراء في الشكل 1 هو بالضبط ما نريده! يوجد **سطح بيني** كبير أو منطقة اتصال كبيرة بين البوليمرين. وهذا أمر ضروري لأن ضوء الشمس لا يولد الشحنات الكهربائية إلا في مناطق اتصال البوليمرين. وعند امتصاص الضوء (النجمة الصفراء)، تتولد الشحنات الكهربائية الموجبة (+) والسالبة (-). وتنجذب عادةً الشحنات المتضادة إلى بعضها البعض وتُفقد الطاقة، أما في الخلايا الشمسية البلاستيكية، فتضمن البوليمرات الحمراء والخضراء فصل الشحنات، ثم تنتقل الشحنات الموجبة والسالبة إلى القطبين + و-، ومن ثم يتحول الضوء إلى شحنات متحركة، وهي الكهرباء! فلنتخيل حجم الفائدة المترتبة على هذه العملية؛ فكل ما نحتاجه فقط أشعة الشمس المجانية وقطعتين من البلاستيك منخفض التكلفة لتوليد الطاقة الكهربائية!

هل يمكننا رؤية هذه البوليمرات الصغيرة؟

إن البوليمرات الخضراء والحمراء صغيرة الحجم فلا نستطيع رؤيتها بسهولة، حتى باستخدام المجهر العادي، فهي لا ترى إلا **بالمجهر الإلكتروني**. فهذا المجهر لا يستخدم الضوء وإنما يعتمد على الإلكترونات "للنظر" إلى الخلايا الشمسية. في الشكل 2، نعرض صورًا ملتقطة بمجهر إلكتروني لخلايا شمسية بلاستيكية حقيقية. هذه صور تنظر للأسفل على الطبقة النشطة. يظهر البوليمران كمناطق مظلمة ومضيئة وليست حمراء وخضراء إذ إن الإلكترونات لديها ما يسمى بـ "عمى الألوان". فعلى اليسار، تظهر خلية شمسية بلاستيكية لا تعمل بكفاءة. تُنشئ القطيرات الكبيرة سطحًا بينيًا صغيرًا جدًا وتكون الكفاءة منخفضة: 1.5%. أما على اليمين، فتظهر خلية



شكل 1



شكل 2

السطح البيني (INTERFACE)

الحدود الفاصلة بين مادتين.

المجهر الإلكتروني (ELECTRON MICROSCOPE)

يستخدم المجهر العادي الضوء لرؤية الأشياء الصغيرة جدًا. ولكن إذا كانت الأشياء متناهية الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها بالمجهر العادي، فنحن بحاجة إلى استخدام مجهر إلكتروني. كما يوحي الاسم، يستخدم المجهر الإلكتروني الإلكترونات بدلًا من الضوء.

شكل 1

رسم تخطيطي لخلية شمسية بلاستيكية. ينشئ ضوء الشمس شحنة موجبة (+) وسالبة (−) في السطح البيني بين البوليمرين. تنتقل الشحنة السالبة إلى القطب السالب للخلية الشمسية والشحنة الموجبة إلى القطب الموجب. يعمل هذان القطبان تمامًا مثل تلك الأقطاب الموجودة في البطارية، ولكنها تستمد طاقتها من الشمس ولا تنفد أبدًا طالما تشرق الشمس.

شكل 2

صورة مجهرية مأخوذة من الأعلى بمجهر إلكتروني لخلية شمسية منخفضة الكفاءة (على اليسار) وخلية شمسية جيدة الكفاءة (على اليمين). تذكر أننا ننظر إلى أشياء صغيرة جدًا: يبلغ طول شريط المقياس جزءًا من مليون من المتر (حوالي 3 أجزاء من المليون من القدم). يتناسب شريط القياس مع 100 × في عرض شعرة الإنسان! القطيرات الكبيرة في الصورة على اليسار لها سطح بيني صغير بين البوليمرين، وهو أمر يؤثر سلبًا على كفاءة الخلايا الشمسية. تحتوي الصورة الموجودة على اليمين على ألياف صغيرة جدًا، مما يؤدي إلى إنشاء سطح بيني كبير بين البوليمرين، وهو أمر جيد لكفاءة الخلايا الشمسية.

شمسية بلاستيكية تعمل بكفاءة أعلى بكثير. فالبُنى بين المناطق المظلمة والمضيئة أصبحت الآن صغيرة جدًا بحيث يصعب رؤيتها، إلا أن هذا يعني أن هناك الكثير من الأسطح البينية التي تساعد على إنتاج المزيد من الشحنات، وترفع الكفاءة بمقدار ثلاثة أمثال لتصل إلى أعلى من 5%.

لا تعد هذه الخلايا الشمسية الأفضل بعد، لكنها يمكن أن تساعدنا في فهم كيفية عمل الخلايا الشمسية البلاستيكية.

المادة الخاصة المضافة

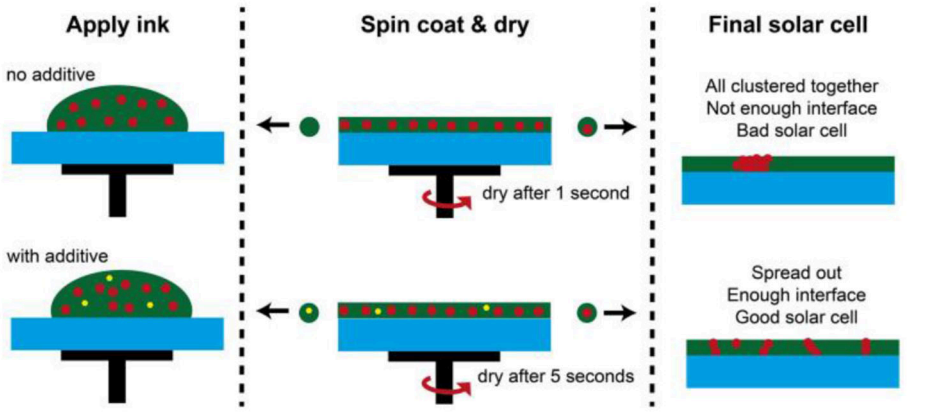
كيف انتقلنا من الخلية الشمسية ضعيفة الكفاءة في الصورة اليسرى إلى خلية شمسية جيدة الكفاءة في الصورة اليمنى للشكل تتمثل الحيلة ``السحرية'' في استخدام مادة خاصة مضافة أثناء تكوين الطبقة النشطة. وهذه المادة المضافة عبارة عن سائل يجف ببطء، ويضاف إلى الحبر بكمية صغيرة. وظهرت هذه الحيلة الذكية لأول مرة في عام 2007 [4]. لكن لم يفهم أحد بالضبط كيفية عملها. دعونا أولًا نتعرف على ماهية هذه المادة ووظيفتها، ومن ثم نرى إن كنا قادرين على فهم تأثيرها السحري. تتكون الطبقات النشطة من خلال عملية تسمى طلاء الحبر بالدوران كما موضح في الشكل 3. ويشير مفهوم **الطلاء بالدوران** إلى تقنية تستخدم لصنع أغشية رقيقة من الحبر. تظهر عملية الطلاء المنتظمة بالدوران في الصف العلوي للشكل 3. توضع قطيرة من الحبر تحتوي على البوليمرات الخضراء والحمراء في سائل ما على لوح زجاجي. ومن خلال هذا الدوران مرتفع السرعة تتشكل طبقة رقيقة رطبة سريعة الجفاف حتى تصل سرعة جفافها إلى ثانية واحدة عن طريق تبخر السوائل. أثناء عملية الجفاف يشكل البوليمر الأحمر قطيرات كبيرة، فيتسبب في ضعف الأداء. ويُظهر الصف السفلي نفس عملية الطلاء بالدوران لكن بعد إضافة المادة المضافة إلى الحبر. في هذه الحالة يستغرق التجفيف وقتًا أطول يصل إلى حوالي 5 ثوانٍ. كما هو واضح لا تتشكل قطيرات عند استخدام المادة الخاصة المضافة.

الطلاء بالدوران (SPIN COATING)

طريقة طلاء لتصنيع أغشية وطبقات رقيقة للغاية. وفيها يتم وضع قطيرة من الحبر على شريحة زجاجية، ثم يتم تدويرها بسرعة عالية لنشر الحبر. بعد الانتشار، يجف الحبر وتتبقى طبقة رقيقة جدًا على الزجاج.

إعداد تجريبي جديد استطاع حل اللغز

شرعنا في دراسة عملية تجفيف الخلية النشطة بالتفصيل من أجل حل اللغز الخاص بدور المادة المضافة الخاصة في زيادة كفاءة الخلية الشمسية. ولنتمكن من دراسة عملية التجفيف أثناء عملية الطلاء



شكل 3

الخلايا الشمسية البلاستيكية مصنوعة بعملية الطلاء بالدوران. الطلاء بالدوران هو تقنية لصنع أغشية وطبقات رقيقة. هنا، يتم عرض جانبين لهذه العملية. المنظر العلوي يشبه عجلة الركل الفخارية. أولًا (على اليسار)، يتم وضع قطيرة من الحبر (إما مع المادة المضافة أو بدونها) على لوح زجاجي. ثم (في الوسط)، يتم تدوير تلك اللوحة الزجاجية بسرعة عالية. بسبب الدوران، تنتشر قطيرات الحبر وتشكل غشاءًا رقيقًا. بدون مادة مضافة، يجف الحبر خلال ثانية واحدة ويتكتل البوليمر الأحمر على شكل قطيرات (أعلى اليمين)، وهو أمر له تأثير سلبي على أداء الخلايا الشمسية. مع المادة المضافة، يستغرق التجفيف وقتًا أطول وينتشر البوليمر الأحمر (أسفل اليمين)، وهو أمر جيد لأداء الخلايا الشمسية.

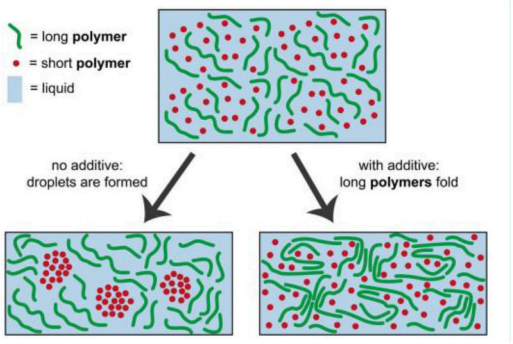
بالدوران، كان علينا إنشاء إعداد تجريبي جديد، في هذا الإعداد، نقوم بتسليط الليزر على اللوح الزجاجي الدوار، ويتغير انعكاس الليزر عندما تتشكل القطيرات. وتبين أنه بدون المادة المضافة الخاصة تتشكل قطيرات كبيرة في مرحلة متأخرة، وحتى بعد مدة يتغير لون البوليمر الأخضر! ولفهم ما يحدث عندما يتغير اللون، علينا أن نتذكر أن المكون الأخضر ما هو إلا بوليمر طويل، ونحن نعلم أن البوليمرات الطويلة قابلة للطي بطريقة تشبه التفاف الثعبان، مما يجعل البوليمرات الخضراء تغير لونها إلى اللون الأخضر الداكن. واستطعنا من خلال التجربة التي قمنا بها تحديد الوقت الذي يتغير فيه اللون ووقت حدوث عملية الطي. واكتشفنا أن تأثير المادة الخاصة المضافة يجعل البوليمر الأخضر ينطوي في وقت مبكر أكثر مقارنة بما يحدث في الطلاء بدون المادة المضافة، وحتى قبل أن تتشكل القطيرات بشكل طبيعي! والسبب هو أن المادة المضافة والبوليمر الأخضر لا يحبان بعضهما البعض كثيرًا. نتيجة لذلك، يتم طي البوليمر الأخضر عندما ``يشعر'' بالمادة المضافة. والمثير للدهشة أننا رأينا أنه بمجرد طي البوليمر الأخضر، لا يشكل البوليمر الأحمر قطيرات. حيث يعيق طي البوليمر الأخضر تكوين القطيرات ويؤدي إلى طبقات مختلطة بشكل أفضل. لقد حللنا اللغز! يعرض الشكل 4 رسمًا تخطيطيًا للرؤى الجديدة.

النتيجة وما يترتب عليها

تتمتع الخلايا الشمسية البلاستيكية بقدرات هائلة لأنه يمكن طباعتها بتكلفة منخفضة على رقائق كبيرة مرنة. لا تزال كفاءتها بحاجة إلى التحسن، ولكن يمكن تحسينها بمقدار ثلاثة أمثال عن طريق إضافة المادة الخاصة المضافة إلى حبر الطابعة. ولأن هذه المادة المضافة مفيدة جدًا، فقد أردنا فهم آلية عملها. ومن خلال تجربة جديدة صممت من أجل دراسة عملية تجفيف الحبر، تبين أن المادة المضافة الخاصة تتحكم في طي أحد البوليميرين.

تتمكن عملية الطي من منع تكون القطيرات الكبيرة وتزيد من حجم السطح البيني بين البوليمرات في الطبقة النشطة. ويلعب السطح البيني دورًا محوريًا في تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء بطريقة فعالة. لم تتحسن الخلايا الشمسية في الماضي إلا من خلال العمل المخبري الشاق، و كان عليك ان تكون محظوظًا للغاية لإنشاء خلية جيّدة. ولكن لأننا نفهم عملية التجفيف الآن، يمكننا التفكير في المزيد من الحيل الذكية لتحسين هذه الخلايا الشمسية! نأمل أن يؤدي ذلك في المستقبل إلى الإنتاج الفعال للكهرباء بتكاليف منخفضة عن طريق الألواح الشمسية المطبوعة!

يمكنك الآن محاولة الإجابة عن هذه الأسئلة:



شكل 4

شكل 4

رسم تخطيطي لكيفية عمل المادة المضافة الخاصة. يوضح الشكل العلوي جزءًا صغيرًا من قطيرة الحبر التي نضعها على غطاء آلة الطلاء بالدوران. نرى أن البوليمرات الخضراء والبوليمرات الحمراء مختلطة. أثناء الطلاء بالدوران، سوف يجف الحبر. بدون المادة مضافة، نرى تكتلًا من البوليمرات الحمراء. مع المادة المضافة، نرى شيئًا مختلفًا تمامًا: البوليمرات الخضراء مطوية. يمنع الطي تكون مجموعات البوليمرات الحمراء.

1. ما ميزة الخلايا الشمسية البلاستيكية مقارنة بالخلايا الشمسية الحالية؟
2. ما المشكلة الرئيسية التي تعيب الخلايا الشمسية البلاستيكية؟
3. لماذا تعتبر المادة المضافة فكرة ذكية؟
4. كيف يجعل هذا البحث الخلايا الشمسية أكثر سهولة في المستقبل؟

مقال المصدر الأصلي

Franeker, J. J. V., Turbiez, M., Li, W., Wienk, M. M., Janssen, R. A. J. 2015. A real-time study of the benefits of co-solvents in polymer solar cell processing. *Nat. Commun.* 6:6229. doi: 10.1038/ncomms7229

المراجع

1. U.S. Energy Information Administration. 2015. *Monthly Energy Review*. Available from: http://www.eia.gov/
2. Krebs, F. C., Espinosa, N., Hösel, M., Søndergaard, R. R., Jørgensen, M. 2013. 25th anniversary article: rise to power – OPV-based solar parks. *Adv. Mater.* 26:29–39. doi: 10.1002/adma.201302031
3. Yusoff, A. R. B. M., Kim, D., Kim, H. P., Shneider, F. K., da Silva, W. J., Jang, J. 2015. High efficiency solution processed polymer inverted triple-junction solar cells exhibiting conversion efficiency of 11.83%. *Energy Environ. Sci.* 8:303–16. doi: 10.1039/C4EE03048F
4. Peet, J., Kim, J. Y., Coates, N. E., Ma, W. L., Moses, D., Heeger, A. J., et al. 2007. Efficiency enhancement in low-bandgap polymer solar cells by processing with alkane dithiols. *Nat. Mater.* 6:497–500. doi: 10.1038/nmat1928

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 25 أكتوبر 2021

حرره: Berend Smit, École Polytechnique Fédérale de Lausanne
Lausanne, Switzerland

الاقتباس: van Franeker JJ and Janssen RAJ (2021) الخلايا الشمسية البلاستيكية:
سر المادة المميزة المضافة. Front. Young Minds
doi: 10.3389/frym.2015.00009-ar

مُترجَم ومقتبس من: van Franeker JJ and Janssen RAJ (2015) Plastic solar cells: understanding the special additive. Front. Young Minds 3:9. doi: 10.3389/frym.2015.00009

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

COPYRIGHT © 2015 © 2021 van Franeker and Janssen.
هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

FRENCH AMERICAN INTERNATIONAL SCHOOL, العمر: 12-13
تقع هذه المدرسة في قلب مدينة سان فرانسيسكو، وهي مدرسة دولية مستقلة من الحضانة إلى الصف الثاني عشر وتضم 1080 طالبًا. في المدرسة الإعدادية والمتوسطة، نقدم برنامج اندماج ثنائي اللغة يبلغ ذروته في مدرستنا الثانوية الدولية، حيث يكمل الطلاب إما برنامج البكالوريا الفرنسية أو الدولية. وبغض النظر عن القسم أو البرنامج المدرسي، لطالما احتلت العلوم مكانة بارزة لدينا. وفي السنوات الأخيرة، قمنا بتحسين مناهجنا من خلال إطلاق نادي العلوم بالمدرسة العليا، وافتتاح مدرسة Tinker Space الثانوية، ومختبر تصميم بالمدرسة الثانوية. ويستخدم الطلاب والمعلمون هذه المرافق لإجراء المزيد من الدراسات الاستقصائية متعددة التخصصات عند نقطة تقاطع التفكير العلمي والتصميمي www.frenchamericansf.org.

المؤلفون

JACOBUS J. VAN FRANEKER
لطالما أحببت بناء الأشياء ومعرفة كيفية عملها. لذلك، فإن أبحاث الخلايا الشمسية تناسبني تمامًا! في يوم واحد في المختبر، يجب أن أصنع خلية شمسية أولًا وبعد ذلك يجب أن أفهم سبب نجاحها. والأفضل من ذلك كله، أنه يمكن تصنيع هذه الخلايا الشمسية بسرعة كبيرة بحيث لا يزال لدي وقت في المساء للعب التنس أو مقابلة أصدقائي!

RENÉ A. J. JANSSEN
تحقيق الاكتشافات هو أكبر شغف لدي. اكتشاف مثل معرفة آلية عمل الطبيعة واستخدام ذلك لصنع شيء جديد من شأنه أن يجعلني أبتسم. أحب أن أتعلم كيف يمكن استخدام الجزيئات البسيطة لتحويل ضوء الشمس إلى كهرباء. أفضل شيء بعد العلم هو المشي لمسافات طويلة في الجبال والاستمتاع بالهواء النقي والشمس والمنظر الخلاب.

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by
جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology