

وزارة الكهرباء

المركز الوطني لبحوث الطاقة

قسم سياسات وتخطيط الطاقة

حلقة بحث بعنوان

النوافذ الذكية

SMART WINDOWS

إنجاز:

رئيس مجموعة التخطيط المتكامل

للمصادر

المهندس محمد عدرة

## Brian A. Korgel

Department of Chemical Engineering, Center for Nano- and Molecular Science and Technology, Texas Materials Institute, The University of Texas at Austin, Austin- Texas 78712,USA

تحضير زجاج يمتص انتقائياً الضوء المرئي والأشعة قرب تحت الحمراء حين يتعرض لجهد كهروكيميائي. وهذا سيفتح المجال لنوافذ «ذكية» يمكنها منع تسرب الحرارة حسب الحاجة بشفافية بصرية أو بدونها.

تشكل الطاقة المستهلكة المباني السكنية والتجارية في الولايات المتحدة حوالي 40% من إجمالي الطاقة المستهلكة وتساهم بحوالي 30% من انبعاثات الكربون المرتبطة باستخدام الطاقة<sup>1</sup>، ولتخفيض الطلب على الطاقة في المباني نحتاج إلى مواد تساعد في تخفيض متطلبات التدفئة والإنارة مما يساهم في نتيجة الأمر في التخفيف من التغيرات المناخية، وبشكل خاص فإن مواد النوافذ الكهروكروية التي يتغير لونها ودرجة شفافيتها لدى تعرضها لمجال كهربائي تساهم في التقليل بشكل كبير استهلاك الطاقة في المباني<sup>2</sup>. وكانت يورديز وزملاؤها<sup>3</sup> قد أوردوا في النشرة البديرة (نيتشر) مؤخرًا تقدُّمًا كبيرًا في تطوير هذه المواد. فقد صنعوا مُركَّبًا يتكون من بلورات أكسيد قصدير الإنديوم نانومترية الحجم، متضمِّنة في زجاج من أكسيد النيوبيوم، مع تحكُّم عال في تحميل وتشتت البلورات النانوية. كان

الأداء الكهرولوني للمركب أفضل كثيراً مما يُتوقع من جمع بسيط للامتصاص البصري بواسطة مكونين منفصلين، يعود إلى البنية النانوية للمادة والتفاعلات التآزرية التي تحدث عند الوسط بين المكوّنين.

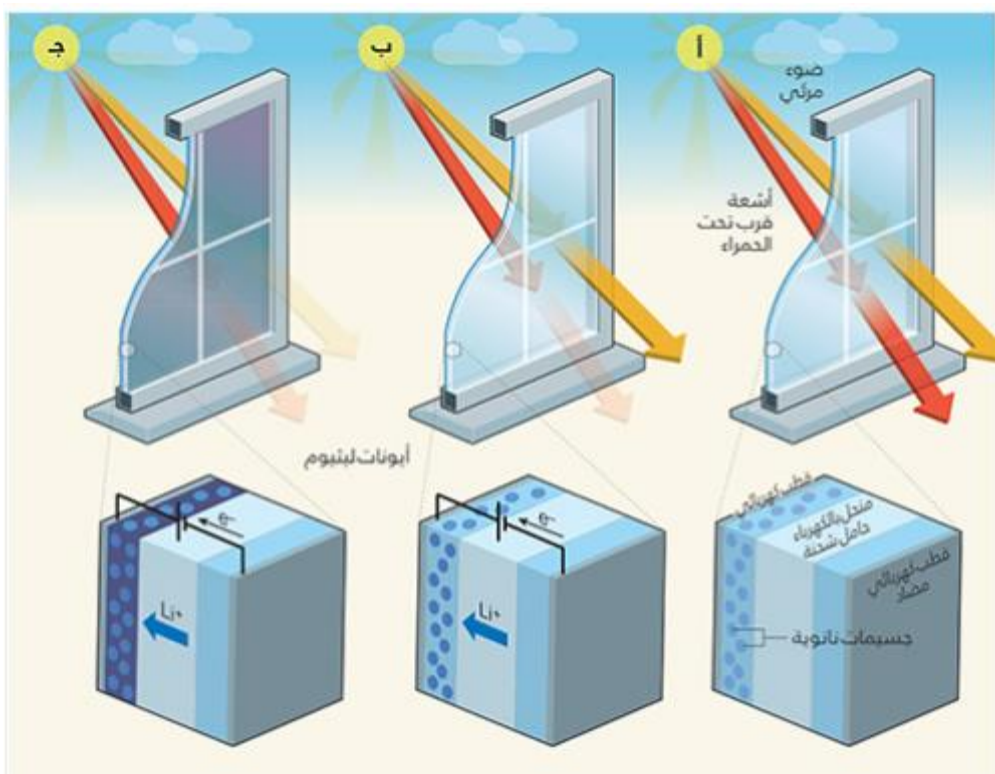
يتم توليف البلورات النانوية غير العضوية كيميائياً مع مجموعات تغطية عضوية ملحقة لتساعد في حدوث قابلية البلورات لتشتت ضمن المذيبات لتمنع تجمعها أو تكتلها وتمنع أي نمو جُسيمي غير مرغوب. ولسوء حظ تطبيقات كثيرة لا تملك المجموعات العضوية أي خصائص كهربائية أو ضوئية مفيدة لذلك هناك مجهود كبير لاستبدال مجموعات غير عضوية بالعضوية بحيث تضيف إلى قدرات البلورات أو تتحول إلى مادة فعّالة كهربائيًا أو ضوئياً. وتمّ استخدام هذا النهج لتكوين تجمعات من بلورات نانوية بخصائص كهربائية 4 محسّنة كثيراً ولتحويل البلورات النانوية المغطاة بمركبات غير عضوية إلى مادة فوتوقولتية مفيدة 5 (وهي مادة تحوّل الضوء إلى كهرباء).

استخدمت يورديز وزملاؤها هذه الاستراتيجية لتكوين مواد زجاجية بجسيمات نانوية، في البداية جرّد الباحثون بلورات أكسيد قصدير الإنديوم (ITO) النانوية من أعطيتها العضوية واستبدلوا بها أيونات متعددة الذرات تحتوي على نيوبيوم وتُعرف بكُتل بولي أكسوميتاليت (POM). تترابط تلك الكتل شعاعياً مع سطح أكسيد قصدير الإنديوم لتكوّن غلافاً حول البلورة النانوية. كَثّف الباحثون بعد ذلك تلك البلورات المعدّلة إلى غشاء بتبخير المذيب من تشتت البلورات، وأخيراً حوّلوا بولي أكسوميتاليت الموجود بين بلورات أكسيد قصدير الإنديوم النانوية المرصوفة بكثافة إلى ماتريكس زجاجي من أكسيد النيوبيوم (NbOx)، وذلك بتسخين الغشاء إلى درجة حرارة 400 مئوية. ومقارنة بطرق صناعية سابقة لصنع مواد زجاجية بجسيمات نانوية تُنمى فيها البلورات اللاعضوية داخل الزجاج 6، تقدم طريقة يورديز وزملائها تحكُّماً دقيقاً جدّاً بتوزيع حجم البلورات النانوية ونسبة حجمها إلى الحجم الإجمالي. وبإضافة المزيد من بولي أكسوميتاليت لتشتت بلورات أكسيد قصدير الإنديوم

النانوية المتوازنة بواسطة بولي أكسوميثاليت يستطيع الباحثون أن يزيدوا من نسبة حجم ماتريكس زجاج أكسيد النيوبيوم.

إحدى الخواص المحورية لتلك المادة المكونة من بلورات أكسيد قصدير الإنديوم النانوية وزجاج أكسيد النيوبيوم هي أن الزجاج مترابط تساهمياً مع البلورات النانوية. وهو ما يقيد التموضعات الجزئية المتاحة لوحداث أكسيد النيوبيوم ثمانية الأوجه ( $NbO_6$ ) الموجودة في الزجاج، ويؤدي إلى تنظيم بنيوي لافيت يختلف عن أكسيد النيوبيوم النقي ( $NbO_x$ ). وظهر أن هذا التنظيم يحسّن الخصائص الكهرولونية لماتريكس الزجاج، فأكسيد النيوبيوم ( $NbO_x$ ) في هذا المركب يكون معتمماً أكثر من المادة السائبة بخمس مرات لدى تطبيق جهد كهربائي مماثل في الحالتين.

وبلورات أكسيد قصدير الإنديوم النانوية كهرولونية أيضاً لكن في نطاق أطوال موجات مختلف عن أكسيد النيوبيوم ( $NbO_x$ )، فهي تمر بتفاعلات أكسدة واختزال كهر وكيميائية قابلة للرجوع وتمتص أشعة قرب تحت الحمراء في حالة الاختزال، لكنها في حالة الأكسدة تكون شفافة لهذا الجزء من الطيف<sup>7</sup>، والجمع بين بلورات أكسيد القصدير النانوية وماتريكس زجاج أكسيد النيوبيوم ( $NbO_x$ ) ينتج مادة يمكنها تعديل امتصاص الضوء المرئي والأشعة قرب تحت الأحمر كهروكيميائياً. ويمكن استخدام هذه المادة في النوافذ الذكية لضبط كمية الحرارة (للأشعة قرب تحت الحمراء) والضوء المارّين عبرها (الشكل 1) بل يمكن ضبط الشفافية البصرية بمعزل عن شفافية الأشعة قرب تحت الأحمر.



الشكل (1): تصميم نافذة كهولونية

تقترح يورديز وزملاؤها<sup>3</sup> أن مركب الجسيمات النانوية المضمنة في الزجاج قد يُستخدم لصناعة نوافذ تستطيع بتحكّم وانتقائية امتصاص الضوء المرئي والأشعة قرب تحت الأحمر (الحرارة).

(أ) في هذا التصميم تكون النافذة خلية كهروكيميائية تحتوي على لَوْحِي زجاج موصلَيْن ومفصولين بمادة صلبة كهربية حاملة للشحنة. والمادة التي ابتكرها المؤلفون يتم وضعها على أحد اللوحين لتشكل قطبًا كهربيًا ا، بينما يوضع القطب المضاد على اللوح الآخر. في غياب حمل كهربي تكون النافذة شفافة للضوء المرئي والأشعة قرب تحت الحمراء.

(ب) حين يتم تطبيق جهد كهربي متوسط تتحرك حاملات الشحنة (أيونات الليثيوم  $Li^+$  والإلكترونات  $e^-$ ) عبر دارة كهربية، وتصبح حينئذ الجسيمات النانوية مختزلة كيميائيًا، ومن ثمّ تمنع مرور أغلب الأشعة قرب تحت الحمراء.

(ج) عند جهد أقل، يصبح ماتريكس زجاج المركّب مختزلاً ويمنع معظم الضوء المرئي.

فتح نھج یوردیز وزملائھا لتصنیع مواد مرکبة من بلورات نانویة غیر عضویة فی الزجاج الطریق لمجال واسع من خصائص مواد جدیدة وتطبیقاتھا بھیث لا یقتصر علی الکھرولونیات. والتحدی أمام کل تطبیق الآن هو تحدید أفضل مزج بین تکوین البلورات النانویة ومجموعات التغطية غیر العضویة القابلة للتعدیل. وبشکل أكثر تحدیداً، هناك مسائل عدیدة ینبغی تناولھا قبل استخدام تلك المادة فی النوافذ، فمثلاً استخدم الباحثون معدن اللیثوم کقطب (إلکتروڈ) مضاد لاختبار أداء مادتهم، لکن هذا لن یكون صالحاً للتطبیقات التجراریة لأسباب تتعلق بالسلامة. وینبج إيجاد إلیکتروڈ مضاد مناسب.

أجرى الباحثون اختباراتهم الضوئیة الکھروکیمیائیة باستخدام کھرولیت (Electrolyte) سائل کحامل للشحنة، بینما الکھرولیت الصلب مناسب أكثر ربما لتطبیقات المبانی. وستكون المواد الضروریة لبناء نافذة کھرولونیة أعلى تکلفة من مواد النافذة العادیة. لذا ینبج أن تكون زیادة التكلفة متوازنة مع التوفیر فی الطاقة الذی ستحققه تلك المبانی من استخدام نوافذ ذکیة. وفی الحالة المثالیة ینبج أن لا یكون هنالك استهلاك للطاقة للحفاظ علی الشفافیة أو العتمة لکن ذلك لا یزال قید الاختبار.

وعلی أي حال، جاءت نتائج یوردیز وزملائھا واعدت. وباستخدام إلیکتروڈات مضادة ملائمة وكھرول صلب، وإذا ثبت استقرار طویل الأمد لهذا المرکب ستكون النوافذ بشفافیة ذات نطاق متعدد طیفیاً فی المتناول قریباً، بما یتیح للمبانی راحة وكفاءة غیر مسبوقة فی استخدام الطاقة.

**References:**

1. Richter, B. *et al.* Rev. Mod. Phys. *80*, S1–S109 (2008).
2. Li, S.-Y., Niklasson, G. A. & Granqvist, C. G. J. Appl. Phys. *108*, 063525 (2010).
3. Llordés, A., Garcia, G., Gazquez, J. & Milliron, D. J. Nature *500*, 323–326 (2013).
4. Panthani, M. G. & Korgel, B. A. Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng. *3*, 287–311 (2012).
5. Jiang, C., Lee, J.-S. & Talapin, D. V. J. Am. Chem. Soc. *134*, 5010–5013 (2012).
6. Sakamoto, A., Yamamoto, S. Int. J. Appl. Glass Sci. *1*, 237–247 (2010).
7. Garcia, G. et al. Nano Lett. *11*, 4415–4420 (2011).
8. الزجاج ذو النفاذية الاختيارية للإشعاع الشمسي (الدكتور عباس محمد الزعفراني- جامعة القاهرة)