

Nanotecnología para células solares

Introducción

La tecnología fotovoltaica no es nueva, pero todavía existen obstáculos grandes que impiden su implementación en grande escala. La célula solar más simple usa una sola juntura p-n planar. Los semiconductores pueden absorber la energía de un fotón incidente, elevando un electrón de la banda de valencia a la de conducción. Esto crea un par electrón-hueco o excitón. El campo eléctrico puesto por la diferencia de *band gaps* de los dos semiconductores lleva el electrón al tipo-n y hueco al tipo-p, de modo que el flujo de electrones (y huecos, con cuales combinan después de pasar por el circuito) genera una corriente.

Hoy en día hay que escoger entre células que son caras o de bajo rendimiento. Las mejores células son hechas de junturas múltiples de diferentes semiconductores inorgánicos, sus *band gaps* afinados para absorber gran parte del espectro solar. Sin embargo, los procesos de purificación y fabricación requieren altas temperaturas y vacío, y varios pasos lithográficos¹. Además, muchos de estos materiales son escasos. El resto del papel se enfocará en dos alternativas: células orgánicas mejoradas con nanotecnología (híbridas) y células nanocristalinas. Pero la nanotecnología se encuentra en todas partes de la investigación fotovoltaica. La morfología superficial, técnicas de deposición y crecimiento de láminas, hasta los electrodos pueden ocupar física de la escala nano. Acá sólo se ve las aplicaciones en el interior de la célula, la región semiconductor.

Células Orgánicas

Una alternativa son células que empleen láminas delgadas de semiconductores orgánicos. Ofrecen la potenciales ventajas de ser baratas de producir y flexibles. Pero actualmente tienen rendimientos significativamente menores que células inorgánicas (6.5% comparado con 42.8% en las más avanzadas^{2,3}). Con estas células nanotecnología se aplica principalmente para mejorar la movilidad

de los portadores de carga, usando nanotubos a este efecto.

La física de una célula solar orgánica tiene una diferencia importante a la célula inorgánica simple explicada antes. En la orgánica, los semiconductores son moléculas individuales en vez de materiales *bulk*, moléculas electrón-donantes y aceptadores. Cuando el electrón entra la banda de conducción de un semiconductor inorgánica, se puede mover con facilidad. La movilidad de portadores de carga en un semiconductor orgánico es mucho menor a caso de trampas electrónicas¹. Por eso, la morfología del “heterojuntura *bulk*” (se están mezclados los dos semiconductores) es extremadamente importante para el rendimiento del aparato, porque después de viajar unos pocos nanómetros los electrones y huecos se combinan. La lámina de semiconductores o heterojuntura es muy delgada, en la escala nano.

Para fabricar estas láminas, una cantidad de solución que contiene las moléculas deseadas se deposita en la muestra. Entonces se gira en un proceso conocido como *spin-casting* (algo parecido a “giro-moldear”), para que la solución cubra la muestra con una lámina bien delgada. Después se evapora el solvente. Por controlar la concentración de la solución, velocidad de giro, y tiempo de evaporación se puede controlar la nanoestructura del material.

Así que los nanotubos tienen la ventaja que proveen de un camino de transporte para los electrones. Grupos han usado tubos de CdSe, un semiconductor tipo-n que también es popular en células solares más tradicionales. Por cambiar su ancho se puede escoger su *band gap*. La longitud del tubo se afina para cuadra con el ancho de la lámina semiconductor, para que los electrones alcancen mejor el electrodo. Los tubos necesitan ser combinados con un medio tipo-p. En el estudio pionero de esta técnica, usaron el polímero orgánico poly (3-hexylthiophene) (P3HT) (ahora es claro porque esta célula es híbrida orgánica-inorgánica). Los espectros de absorción de ambos materiales se complementen. Se logró un rendimiento de sólo 1.5%, indicando la necesidad de refinar el proceso. Mencionaron algo de qué podría ser mejorado. Los nanotubos, de largo 70 nm, no podían penetrar toda la lámina, a 200 nm. Tampoco estaban alineados con el campo eléctrico, lo cual sería ideal para

transporte de portadores. Además, necesitarían quitar la interfaz nanotubo-polímero las trampas de electrones. Todo esto sería para aumentar la movilidad de portadores de carga¹.

También existe la idea de insertar nanotubos solamente para portar cargas a una célula orgánica tradicional. Esta ya tiene dos semiconductores orgánicos, así que los nanotubos facilitarían movimiento de cargas a lo largo del campo eléctrico⁴. Hay una variedad de mezclas de materiales (tipo-p, tipo-n, tubos, electrodos) para probar en esta configuración. También se podría pegar nanopartículas semiconductores a los nanotubos o simplemente mezclar todo tipo mencionado más arriba⁵. Nadie ha hecho la mayoría de los posibles experimentos.

Células Nanocristalinas

En la última categoría hay células nanocristalinas. Usan nanocristales, también conocidos como puntos cuánticos, aunque en este contexto pueden tener forma esférica o de barra; lo importante es que son estructuras sólidas en la escala nano. Están dispersados por un polímero semiconductor o mezclados con otros nanocristales para crear una heterojuntura^{6,7}.

Es más simple imaginar nanocristales incrustados en un medio polimérico, una célula completamente inorgánica ofrece mejor transporte y separación de portadores de carga. También es más resistente a degradación que con materiales orgánicos. Recién fue realizado este tipo de célula por la primera vez. Usaron nanocristales de CdSe y CdTe en forma de barra. Se depositaba un nivel después del otro por *spin-casting* para formar un entramado cristalino que entrelace ambos semiconductores. Obtuvieron un rendimiento de 2.9% en la primera generación de esta tecnología. Un desafío que existe es que libres electrones y huecos existen en el material donante y aceptador. Esto es porque los excitones pueden disociarse por lo largo de las nanobarras. Sin embargo, significa más recombinación de excitones⁶.

A pesar de algunas dificultades, los nanocristales también ofrecen una posibilidad emocionante: el efecto de multiplicación de excitones. El mecanismo todavía se discute, pero se ha mostrado que un fotón puede producir más que un exciton (hasta por lo menos 7). Normalmente, cuando un fotón de alta

energía lleva un electrón a un estado elevado, cualquier energía extra se pierde. Pero en un punto cuántico (han usado PbSe), los electrones están más confinados así que, de alguna manera, la energía extra se les pasa a otros. En una célula normal de una sola juntura, el máximo rendimiento teórico se calcula a 30% considerando la termodinámica de su funcionamiento, pero podría alcanzar 42% utilizando multiplicación de portadores. Lo malo ahora es que los excitones duran muy poco antes de decaer. Para este fin quieren combinar los nanocristales con polímeros conductores. No obstante, hay más desafíos también como mala conductividad, toxicidad, y degradación⁸.

Conclusiones

Esas son algunas áreas de investigación actual que tienen que ver con nanotecnología. Como dicho antes, todo mecanismo importante al funcionamiento de las células fotovoltaicas puede ser mejorado por aprovechar las herramientas de la escala nano. Lo más probable es que las células futuras usen una mezcla de las técnicas que están desarrollándose ahora. Esperamos que puedan llevar un futuro de energía limpia, barata, y amplia.

Referencias

1. Wendy U Huynh, et al. "Hybrid Nanorod-Polymer Solar Cells." Science 295(2007): 2425-2427.
2. Jin Young Kim, et al. "Efficient Tandem Polymer Solar Cells Fabricated by All-Solution Processing." Science 317(2007): 222-225.
3. Carlos Alejandro. "UD-led team sets solar cell record." UDaily 23 Jul 2007 28 Nov 2007
<<http://www.udel.edu/PR/UDaily/2008/jul/solar072307.html>>.
4. Carla D Canestraro, et al. "Carbon nanotubes based nanocomposites for photocurrent improvement." Applied Surface Science 252(2006): 5575–5578.
5. Brian J Landi, et al. "Single-wall Carbon Nanotube–Polymer Solar Cells." Prog. Photovolt: Res. Appl. 13(2005): 165–172.
6. Ilan Gur, et al. "Air-Stable All-Inorganic Solar Cells Processed from Solution." Science 310(2007): 462-465.
7. AJ Nozick. "Quantum dot solar cells." Physica E 14(2002): 115-120.
8. Victor I Klimov, Richard D Schaller, and Anthony Mancino. "Carrier Multiplication and Quantum Dots." Los

Alamos Energy Security 2.2 Verano 2006 4-5. 28 Nov 2007 <<http://energysecurity.lanl.gov>>.