



Libro Blanco de Risen Energy sobre los productos
HETEROUNIÓN (HJT) Hyper-ion

Desarrollo e industrialización de pastas de metalización
con bajo contenido de plata

Risen Energy Co., Ltd.

Agosto de 2023



TABLA DE CONTENIDO

1. Prólogo	1-4
1.1 Análisis de costes de las células de heterounión	
1.2 Aplicación de pastas con bajo contenido de plata para la reducción de costes	
2. Lógica de desarrollo de las pastas con bajo contenido de plata de RISEN	5-8
2.1 Conductividad	
2.2 Situación de las reservas minerales de cobre, aluminio, zinc y níquel	
2.3 Precios de los metales cobre, aluminio, zinc y níquel	
3. Desarrollo e industrialización de pastas de metalización con bajo contenido de plata	9-15
3.1 Encapsulación de las pastas con bajo contenido de plata	
3.2 Efecto de la exposición a la luz, la electricidad y el calor sobre la pasta con bajo contenido de plata	
3.2.1 Prueba de migración transversal de iones de metales de bajo coste	
3.2.2 Prueba de difusión profunda de iones metálicos de bajo coste después de la exposición al calor y la luz	
3.2.3 Prueba del uso de cobre en condiciones extremas	
4. Prueba de fiabilidad y resultados	16-17
5. Comparación de la generación de electricidad	18
6. Resumen.....	19

1. Prólogo

Si al silicio policristalino tipo p (p -Poly) se le denomina célula de 1ª generación, a la pasivación al reverso tipo p (p -PERC) se llama célula de 2ª generación célula de contacto pasivado de óxido de túnel tipo n (n -TOPCon) se conoce como célula de 2,5ª generación, entonces la heterounión tipo n (n -HJT) merece ser denominada célula de 3ª generación.

Las células HJT representan la tecnología de células de la próxima generación por sus numerosas ventajas. Por ejemplo, las células HJT mantienen el récord mundial de células de silicio cristalino, con un rendimiento previsto de más del 27%, que es lo más cercano al límite teórico de las células de este género. Las células HJT no sólo llevan ventajas de alta eficiencia, sino también intrínsecamente están libres de los muchos tipos de atenuación comunes de las células de generaciones anteriores, como PID/LID. Su proceso de producción es simple y de bajo consumo energético, con sólo 4 procedimientos principales, su tasa de producto bueno puede exceder el 99%. Mientras tanto, los productos HJT adoptan un proceso de baja temperatura inferior a 200 °C durante todo el proceso de producción, que es compatible con obleas de silicio (*silicon wafer*) ultra-delgadas de menos de 90 μ m. Junto con la tecnología de células sin bus bar principal y módulo de interconexión, puede obtener un valor de huella de carbono extremadamente bajo.

Los módulos HJT cuentan muchas ventajas de rendimiento. Su estable coeficiente de temperatura de potencia, su ultra-alta tasa de bifacialidad y el excelente rendimiento anti-atenuación hacen de los módulos de heterounión los productos de mayor generación de electricidad. Mediante la simulación y el cálculo de la generación de electricidad por vatio, la generación de electricidad de los módulos HJT es aproximadamente un 6% superior a la de los módulos PERC y un 3% superior a la de los módulos TOPCon. Risen Energy Co., Ltd.

(En lo sucesivo denominado RISEN) realizó una prueba empírica de un año de duración en Yinchuan, China. Los datos demostraron que la generación de electricidad de los módulos bifaciales de heterounión era aproximadamente un 9,6% superior en comparación con los módulos PERC monofaciales y aproximadamente un 6,1% superior en comparación con los módulos PERC bifaciales, como se muestra en la figura 1.1. Una mayor generación de electricidad reducirá significativamente el coste BOS y el LCOE del sistema fotovoltaico, y también aportará mayores ingresos al cliente por generar más electricidad y, al mismo tiempo, logrará mayor reducción de las emisiones de carbono y mayor valor del carbono para el cliente en caso de comercio de emisiones de carbono.

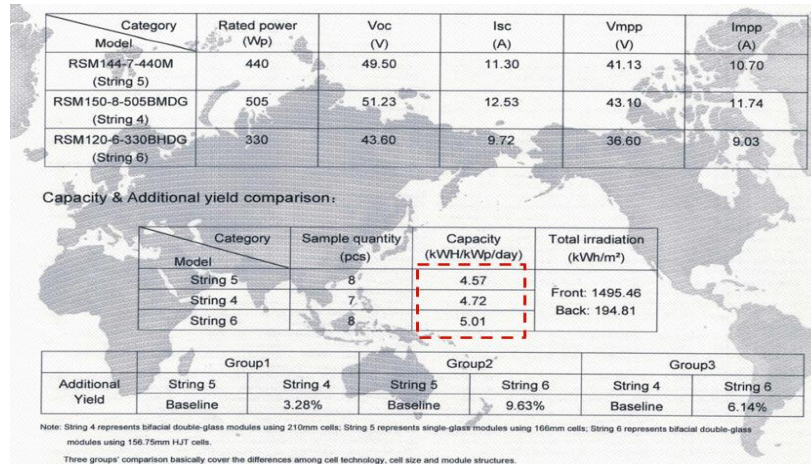


Figura 1.1 Informe de SGS y CPVT_Puebas empíricas en Yinchuan, China

En la actualidad, la principal dificultad para todos los fabricantes de la Industria fotovoltaica consiste en superar urgentemente la reducción de costes. Gracias a los esfuerzos de años y años y al desarrollo y progreso de esta industria, se espera que RISEN iguale el coste de TOPCon e incluso el de PERC a finales de 2023 o principios de 2024.

1.1 Análisis de costes de las células de heterounión

En la estructura de los costes de las células HJT, el coste de la oblea de silicio, el coste de la pasta y la depreciación del equipo representan el 90% del coste total (como se ve en la figura 1.2), por lo que en toda la ruta de reducción de costes de heterounión, deberían empezar primero a reducirlo por estos 3 aspectos. Entre ellos, el coste de la oblea de silicio representa la mayor parte, el 55%, más de la mitad del coste total, y a medida que disminuye el precio del material de silicio, el coste de la oblea de silicio también baja (como se muestra en la figura 1.3), pero sigue ocupando la mayor parte del coste total de la célula de heterounión.

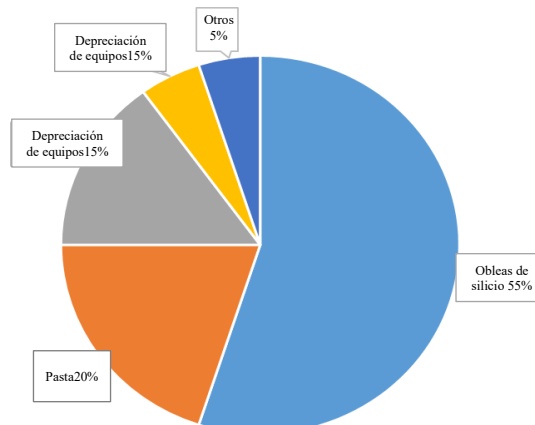


Figura 1.2 Estructura de costes de célula

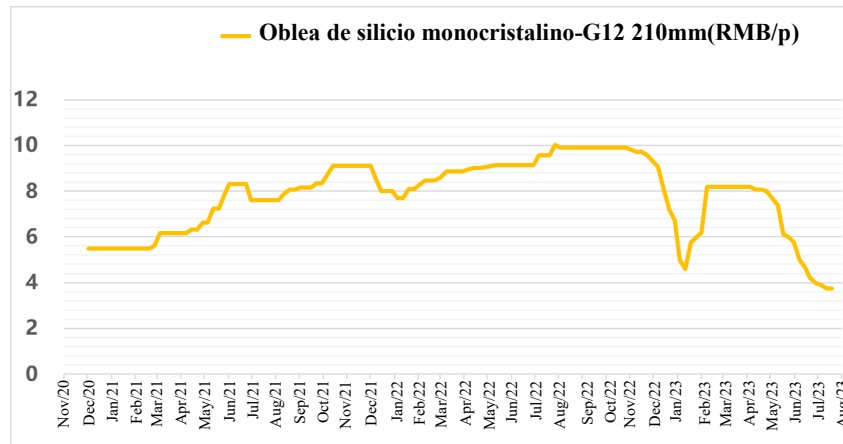


Figura 1.3 Gráfico de precios de oblea de silicio monocristalino 210 ^[1]

(Fuente de datos: Shanghai CAITONG e-commerce S.A.)

En la actualidad, Risen Energy ha comenzado a producir en masa obleas ultrafinas con un grosor inferior a 100 μm y también ha introducido obleas de producción propia y explorado la reutilización de recortes de lingotes para reducir costes, lo que ya ha dado buenos resultados. En el próximo artículo hablaremos de las obleas ultrafinas en la producción en serie de tecnología HJT y de la fiabilidad del producto.

1.2 Aplicación de pasta con bajo contenido de plata para la reducción de costes

Las pastas de metalización ocupan la segunda mayor parte del coste, alrededor del 20%. Actualmente, la pasta de metalización utilizada en la industria fotovoltaica se denomina básicamente pastas de plata, entre las cuales, el contenido de plata de la pasta que utilizada por PERC y TOPCon suele ser superior al 90%. Según el gráfico de tendencias de precios de futuros de la plata que se muestra en la figura 1.4 ^[2], su precio sigue subiendo. Debido a la gran cantidad de pasta de plata de baja temperatura utilizada en la heterounión, la proporción del coste de la pasta seguirá aumentando. En la actualidad, los profesionales de la industria de la heterounión buscan materiales alternativos que puedan tener una buena conductividad al mismo tiempo, y un bajo precio.

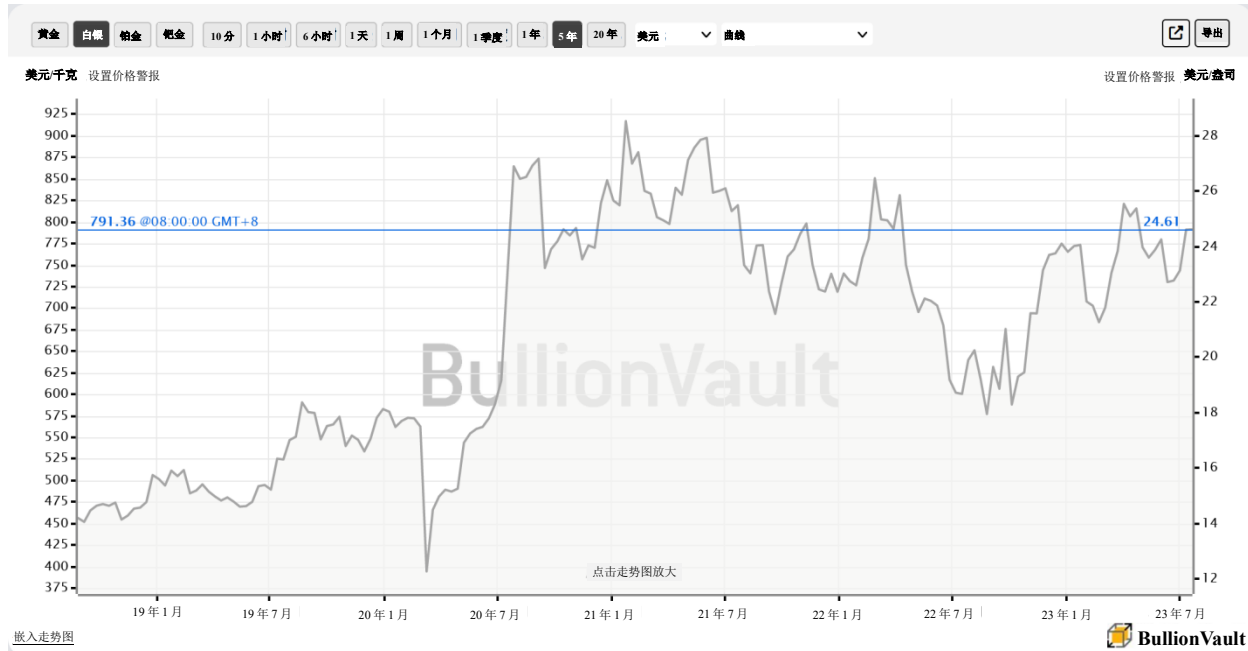


Figura 1.4 El gráfico de tendencia de precios de futuros de plata [2]

Gracias a una amplia labor de I+D y a una rigurosa validación, Risen Energy ha introducido y utilizado plenamente la pasta de bajo contenido en plata, el cual utiliza metales de bajo coste, en sus productos de *heterounión (HJT)* de serie hyper-ion, y además, ha desarrollado una detallada hoja de ruta tecnológica para reducir continuamente el coste de las células y los módulos de *heterounión (HJT)*, garantizando al mismo tiempo la eficiencia de las células y la fiabilidad de los módulos. Este libro blanco proporcionará una exploración en profundidad de la lógica subyacente detrás de la utilización de pasta de metalización con bajo contenido de plata y presentará los resultados empíricos de las pruebas de rendimiento realizadas en los productos HJT Hyper-ion de Risen Energy.

2. Lógica de desarrollo de la pasta con bajo contenido de plata

Como se mencionó antes, en la actualidad, la pasta metalización utilizado en las células solares, la composición principal del material de plata se dice que es con el metal precioso, el precio elevado. Según el "*INFORME DE RECURSOS MINERALES DE CHINA*" elaborado por el Ministerio de Recursos Naturales de la República Popular China en 2022, la reserva mineral de plata asciende a 71.783,66 toneladas, mientras que el cobre, el aluminio, el zinc, el níquel y otros metales representan una proporción menor de las reservas, por lo que serán más susceptibles a las fluctuaciones de precios en el mercado de futuros, lo que afectará al coste de las células. Al igual que la trayectoria de desarrollo de los circuitos integrados de transistores, al principio se utilizará como conexión con el material de oro para materiales de cobre, e incluso materiales de aluminio, reduciendo significativamente el coste de los circuitos integrados al mismo tiempo, pero también los circuitos integrados completaron con éxito el proceso de industrialización. Del mismo modo, en la industria fotovoltaica, sustituir los metales preciosos utilizados para la metalización de las células por metales de bajo coste es una forma segura de reducir costes, y elegir el metal de bajo coste adecuado requiere tener en cuenta tres dimensiones: la conductividad, las reservas y el precio del material.

2.1 Conductividad

La tabla 2.1^[3] indica la conductividad eléctrica de los principales materiales metálicos. La plata, como material de mejor conductividad eléctrica, se utiliza actualmente en numerosas pastas de metalización de células fotovoltaicas.

Tabla 2.1^[3] La conductividad eléctrica de diferentes metales^[3]

Secuencia	Material	Conductividad σ , at 20°C(S/m)
1	Plata	6.30×10^7
2	Cobre	5.96×10^7
3	cobre recocido	5.80×10^7
4	Oro	4.11×10^7
5	Aluminio	3.77×10^7
6	Latón (5% Zn)	3.34×10^7
7	Calcio	2.98×10^7
8	Radio	2.31×10^7
9	Tungsteno	1.79×10^7
10	Cinc	1.69×10^7
11	Latón(30% Zn)	1.67×10^7
12	Cobalto	1.60×10^7
13	Níquel	1.43×10^7

2.2 Reservas minerales de cobre, aluminio, cinc y níquel

China tiene reservas minerales de 34.947.900 toneladas de cobre, 711.137.400 toneladas de bauxita, 44.229.000 toneladas de cinc y 4.220.400 toneladas de níquel, tal como muestra la tabla 2.2. Los recursos de cinc de nuestro país ocupan el segundo lugar en el mundo, con el 21% de las reservas mundiales, mientras que los de cobre, aluminio y níquel representan el 3,1%, el 3,3% y el 3,1% de las reservas mundiales respectivamente, lo que no lleva un porcentaje elevado, pero todavía es más optimista que las reservas minerales de plata (unas 120.000 toneladas), como se muestra en la figura 2.1.

Tabla 2.2 Datos de reservas de cobre, aluminio, cinc y níquel
(Extraídos del INFORME DE RECURSOS MINERALES DE CHINA 2022)

Secuencia	Mineral	Unidad	Reserva
1	Mineral de cobre	Metal 10 mil toneladas	3.494,79
2	Mineral de bauxita	Mineral 10 mil toneladas	71.113,74
3	Mineral de cinc	Metal 10 mil toneladas	4.422,90
4	Mineral de níquel	Metal 10 mil toneladas	422,04

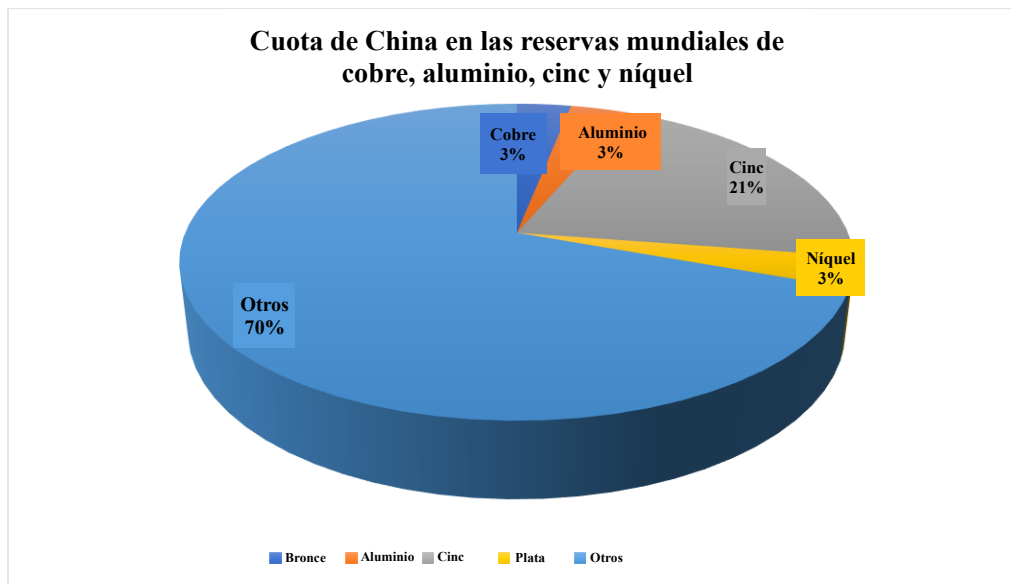


Figura 2.1 Reserva mundial de cobre, aluminio, cinc y níquel

Fuente de datos: Oriental Securities

2.3 Precios de los metales cobre, aluminio, cinc y níquel

El gráfico 2.2^[4] muestra la tendencia histórica de 5 años de los precios de estos 4 metales en USD/tonelada, que alcanzaron su máximo en 2022. En el momento de redactar el presente artículo, el precio de cobre cuesta 8.422 \$/t., el de aluminio, 2.198 \$/t., el de cinc, 2.347 \$/t., y el de níquel, 20.809 \$/t, todos son muy baratos comparados con la plata a 791.360 \$/t. Por tanto, el pensamiento actual del sector es estudiar cómo sustituir la plata por metales de bajo coste.

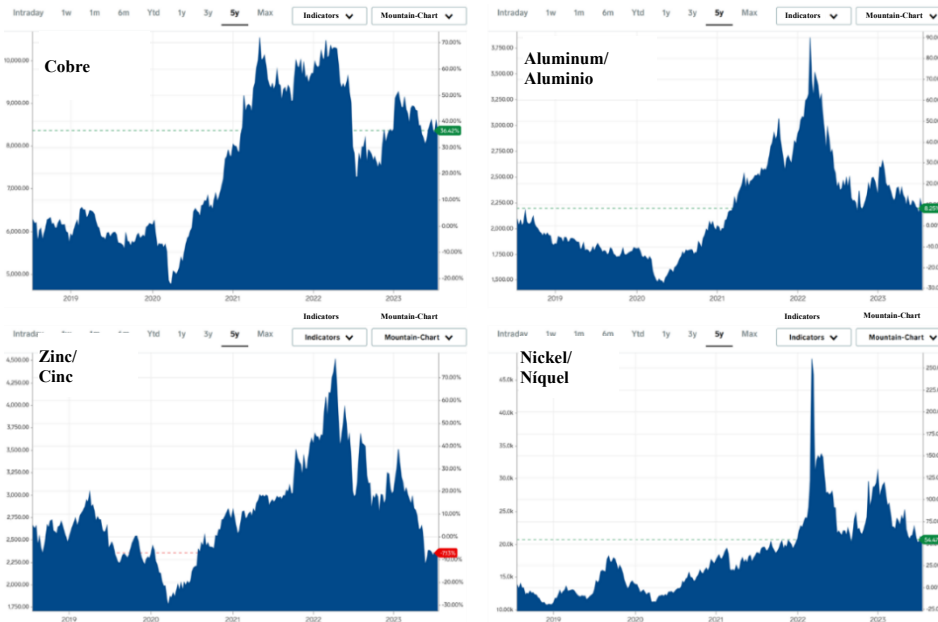


Gráfico 2.2 Tendencia histórica de los precios de los metales cobre, aluminio, cinc y níquel

Cuando lo razonamos en términos de la conductividad, las reservas, el precio, etc., encontraremos que los materiales alternativos relativamente adecuados son: cobre, aluminio, cinc y níquel.

En cuanto a la forma de sustituir y el tipo de material que debe utilizarse para ello, actualmente, existen dos vías principales de desarrollo tecnológico en el ámbito de la industria fotovoltaica: una consiste en el uso de la galvanización para lograr la metalización sin plata, pero por el momento aún no está madura esta forma, debido a inconvenientes como el alto coste de los equipos, los consumibles, el tratamiento de las aguas residuales y otras deficiencias, el coste de la metalización sin plata no ha disminuido rápidamente, por lo que la gente tiende a utilizarla como un medio para mejorar la eficiencia en lugar de rebajar los costes; la segunda es sustitución de la plata acendrada por un metal de bajo coste revestido en cáscara de plata en la pasta de baja temperatura, esta pasta con bajo contenido de plata es muy similar a la pasta de plata, tiene la misma morfología y un rendimiento cercano, no requiere invertir en nuevos equipos, puede ser compatible con

las líneas de producción existentes y puede reducir significativamente el coste de metalización.

Durante los años de investigación y desarrollo de productos de heterounión, RISEN ha dispuesto múltiples rutas. En la ruta de industrialización actual de la tecnología de metalización, ha introducido completamente y producido en masa la pasta de metalización con bajo contenido de plata, y también está continuamente desarrollando y optimizando materiales, tecnologías y equipos de metalización con mejor rendimiento y menor coste junto con fabricantes y proveedores de materiales y los de equipos.

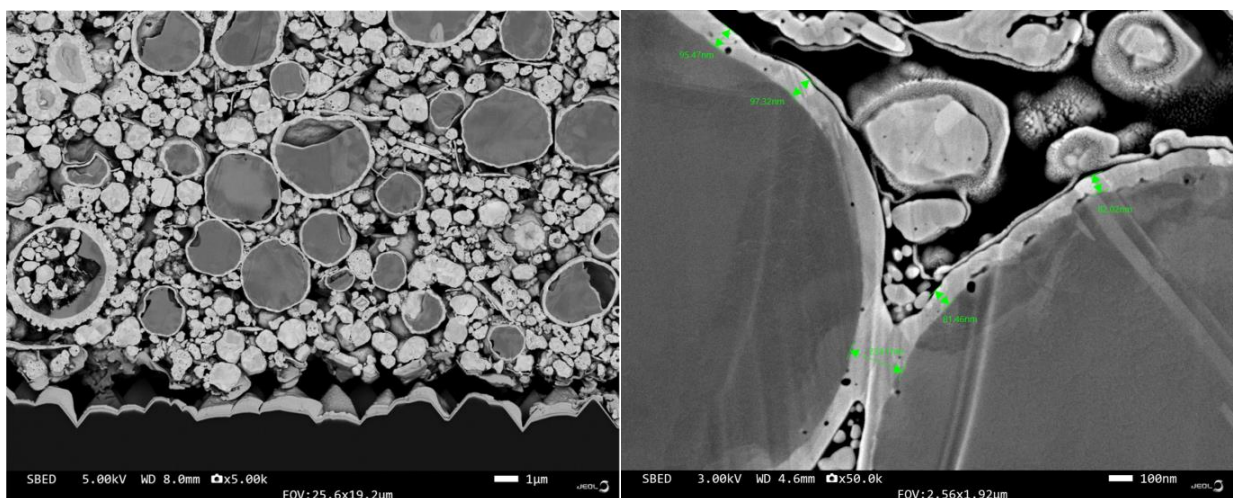
3. Desarrollo y aplicaciones de la pasta con bajo contenido de plata

La pasta con bajo contenido de plata sirve para recubrir a un metal de bajo coste encapsulada como cáscara de plata, si se daña la capa de plata, habrá un riesgo de exposición de dicho metal, y el metal de bajo coste suele ser muy reactivo. Si este difunde en el interior de la célula, se formará un centro de recombinación y reducirán la eficiencia de la célula. En el proceso de desarrollo de pastas con bajo contenido de plata, RISEN, junto con sus proveedores, ha desarrollado dichas pastas con un buen rendimiento en la preparación de materiales, el control de procesos y la optimización de tecnologías de células y módulos.

3.1 Encapsulación de las pastas con bajo contenido de plata

La figura 3.1 son fotografías de FIB-SEM (Microscopio electrónico de haz de iones enfocado), en la que la envoltura blanca exterior es de plata, y la bola envolvente interior es el metal de bajo coste. Se puede ver claramente que el envolvimiento es excelente y no hay riesgo de exposición.

También puede verse claramente en la foto ampliada que el grosor de la envoltura de plata está entre $80\text{-}100\text{nm}$, lo que puede garantizar de forma efectiva que la envoltura de plata no se dañe con facilidad y puede evitar que el metal de bajo coste quede expuesto, tal como se muestra en la figura 3.1(b).



(a)

(b)

Figura 3.1 (a) (b) Fotografías de FIB-SEM de pastas con bajo contenido de plata

3.2 Efecto de la exposición a la luz, la electricidad y el calor sobre la pasta con bajo contenido de plata

Si las células hechas con pasta con bajo contenido de plata se exponen a la luz, la electricidad y el calor durante mucho tiempo, este tratamiento de envejecimiento acelerado puede simular el estado de células encapsuladas en el módulo tras un funcionamiento a largo plazo. Tras el envejecimiento de células, vale la pena explorar si se producirá el fenómeno de debilitamiento del revestimiento de la cáscara de plata y la precipitación de iones de metales de bajo coste. Para ello, el equipo de I+D de RISEN ha validado esta incertidumbre mediante los dos experimentos siguientes:

Uno es exponer la célula a la luz durante un largo tiempo sin conducción de los electrodos positivo y negativo: el objetivo principal consiste en verificar, si se produjere la precipitación de metales de bajo coste, debería haber fenómeno de difusión en la superficie de la célula, por lo que utilizamos XPS (espectrometría de fotoelectrones de rayos X) para examinar la migración transversal de iones de metales de bajo coste en la superficie de la célula.

El segundo, después de un largo tiempo de cocción en el horno, cortocircuitar la frente y el dorso de la célula y exponerse a la luz durante un largo tiempo: después de citado tratamiento, utilizar la EDS (Espectroscopia de energía dispersiva) para detectar la penetración longitudinal de los iones de metales de bajo coste en el interior de la célula.

3.2.1 Prueba de migración transversal de iones de metales de bajo coste

Se tomaron las muestras de células terminadas, de circuito abierto y en exposición prolongada a la luz. El área analizada se muestra en la figura 3.3. Se ve un círculo de $400\mu\text{m}$ de diámetro en el punto medio de las dos rejillas finas, con una profundidad de información de unos 5nm .

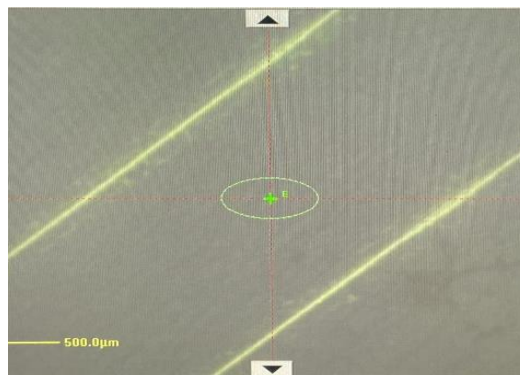


Figura 3.3 XPS (Migración transversal de iones metálicos de bajo coste)

Los resultados de examinar la distribución de espectroscopia XPS se muestran en la figura 3.4, donde es muy fuerte la señal de indio, y no se ha detectado ninguna señal de metal de bajo coste en la superficie de la célula, y hasta 5nm hacia debajo.

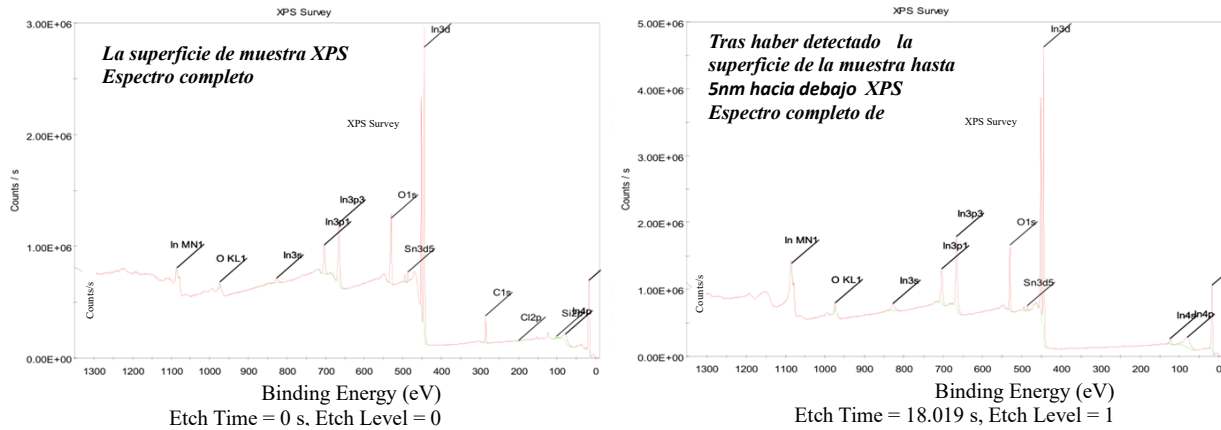


Figura 3.4 XPS (Distribución de espectroscopia)

Resumen los resultados de las mencionadas pruebas en la tabla 3.1. El ITO en la superficie de la célula es una aleación de óxido de indio y estaño, por lo que la presencia de indio/estaño/oxígeno en los resultados es un fenómeno normal. Mientras tanto, también se encontraron algunas impurezas en su superficie, de las cuales el silicio se debía al polvo de silicio que caía del corte de la célula durante el proceso de fabricación de la muestra, y los elementos de carbono y cloro procedían del aire. Los resultados muestran que, tras la prueba de envejecimiento de la célula, no hay debilitamiento del recubrimiento de la cáscara de plata ni fenómeno de precipitación de iones de metales de bajo coste, lo que indica que la pasta con bajo contenido de plata no se atenuará en el entorno de luz, electricidad y calor.

Tabla 3.1 Resumen de los resultados del ensayo real de la distribución espectroscopia XPS

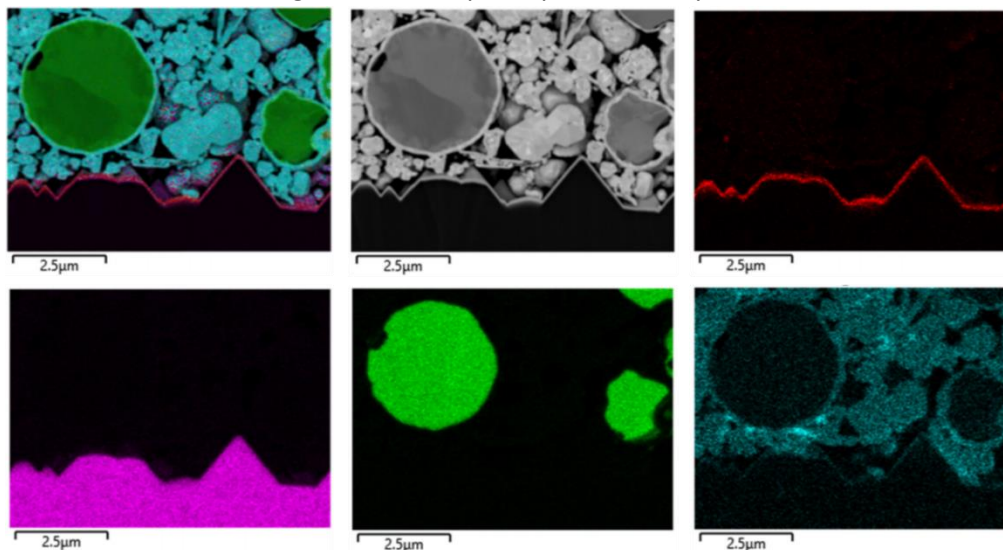
Profundidad de muestra	Resultados de ensayo					
	Unidad: At%					
	In	O	C	Sn	Si	Cl
La superficie 0nm	19.6	39.29	35.22	1.08	3.83	0.98
Chisporroteo 5nm	40.22	58.56	/	1.22	/	/

3.2.2 Prueba de difusión profunda de iones metálicos

Considerando que la alta temperatura y la energización acelerarán la penetración de iones de metales de bajo coste, por eso se hornea la célula durante un tiempo relativamente largo, luego hay que energizar la frente y el dorso de la célula con luz durante un tiempo prolongado, de modo que la célula se encuentre en un estado de funcionamiento normal, y luego se observa la difusión de iones de metales de bajo coste.

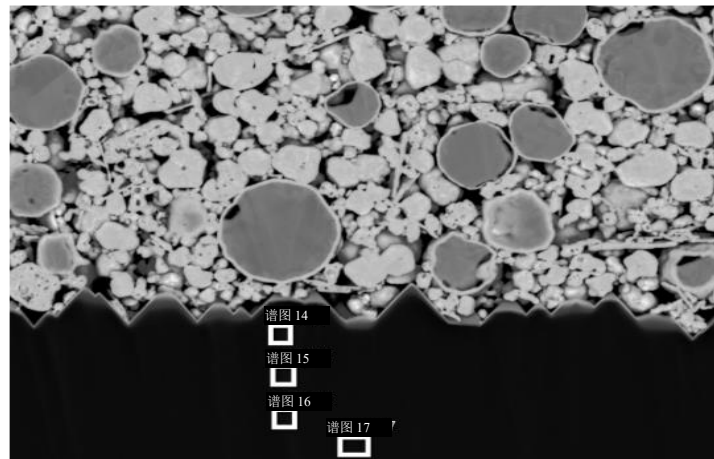
La célula de muestra se cortó mediante FIB-SEM y luego se escaneó capa por capa mediante EDS, como se muestra en la figura 3.5, los diferentes colores representan diferentes elementos, el rojo representa el de oxígeno, el rosa representa el de silicio, el verde representa el de metal de bajo coste, y el índigo representa el de plata, y se puede ver que el metal de bajo coste sólo existe dentro de las cáscaras de plata.

Figura 3.5 Fotos por capas FIB-SEM y EDS



Para detectar aún más si los elementos de metales de bajo coste han penetrado en la profundidad de la célula, se seleccionan 4 posiciones debajo de la línea de rejilla de la pasta con bajo contenido de plata que penetran gradualmente en el interior de la célula para realizar una detección precisa, como se muestra en la Fig. 3.6.

Figura 3.6 FIB-SEM (Microscopio electrónico de haz iónico focalizado)



La figura 3.7 muestra la detección elemental en cada posición de la figura 3.6. En el sustrato de silicio bajo la línea de rejilla, sólo hay señales de elementos de silicio en las 4 posiciones, y no se encuentran señales elementales de metal de bajo coste.

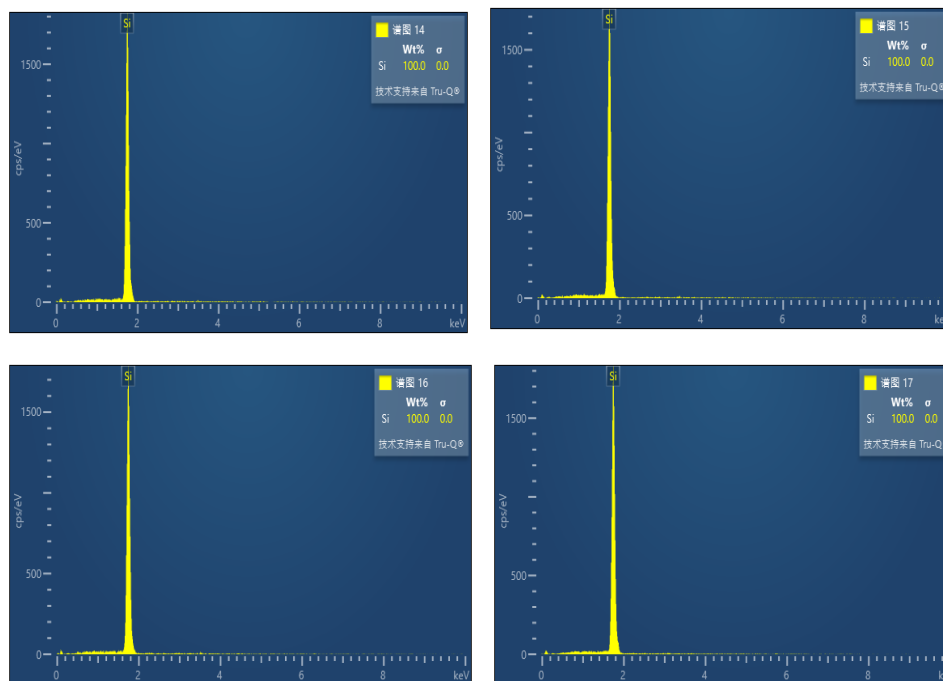


Figura 3.7 EDS (Detección de elementos metálicos de bajo coste en lo profundo de la célula)

En conclusión, a través de varias pruebas hechas en el interior de la célula se puede observar que ni la alta temperatura constante, ni la luz continua, ni el suministro de energía en estado de cortocircuito pueden ocasionar el roto y daño de la cáscara de plata provocando la separación, y los metales de bajo coste de la pasta con bajo contenido de plata no penetrarán en el interior de la célula debido a su funcionamiento normal durante un largo periodo de tiempo.

3.2.3 Pruebas límite para aplicaciones con cobre

El cobre, el aluminio, el cinc y el níquel pueden ser seleccionados como metales de bajo coste para pastas con bajo contenido de plata, entre ellos, el cobre suele ser el más temido por su difusión e infiltración en la célula hasta provocar degradación de su rendimiento. Así que suponiendo que, en el caso de usar cobre, vamos a llevarlo al extremo en el ensayo para ver si hay algún problema en este sentido cuando el cobre está completamente expuesto y luego en contacto directo con la célula de heterounión.

Por lo tanto, usamos la galvanización de cobre como evidencia circunstancial ^[5], tal como se ve en la figura 3.8, donde se depositó ITO de 10nm sobre la célula de muestra y se recubrió directamente el cobre galvanizado encima de ésta.

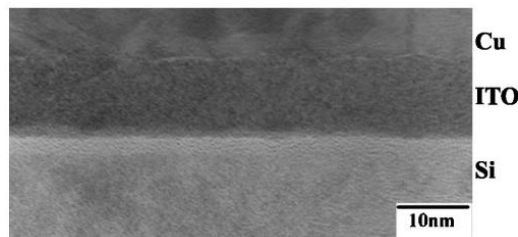


Figura 3.8 Diagrama esquemático de galvanización de cobre

Después de haber pasado diferentes temperaturas de recocido, se llevó a cabo la prueba de resistencia cuadrática de la célula de muestra, como se muestra en la figura 3.9 ^[5], cuando la temperatura de recocido es inferior a 650 °C, su resistencia cuadrática no cambia, pero esta resistencia cambia drásticamente cuando la temperatura de recocido excede 700 °C.

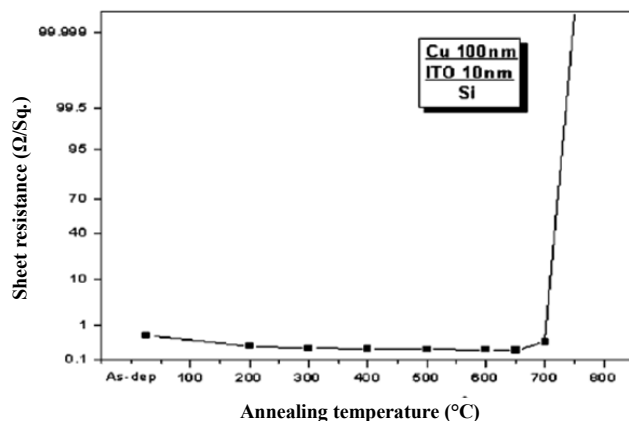


Figure 1. Sheet resistance variations of the Cu/ITO/Si stacked films with the RTA treatment.

Figura 3.9 Ensayo de resistencia cuadrática

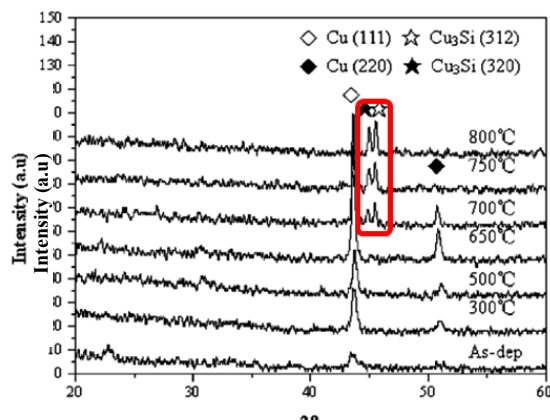


Figure 5. XRD patterns of Cu/ITO/Si sample before and after annealing.

Figura 3.10 DRX

A través de la examinación XRD (Difracción de rayos X), como se muestra en la Fig. 3.10 ^[5], se encontró que apareció la aleación Cu_3Si cuando la temperatura de recocido superó 700°C . La infiltración de cobre forma un centro de nivel profundo, lo que destruye el efecto de pasivación y provoca un cambio drástico en las propiedades.

Según la investigación anterior, sólo un ITO de 10nm en la superficie de una oblea de silicio puede bloquear eficazmente la penetración de iones de cobre cuando la temperatura es inferior a 650°C ., y el espesor de la capa de ITO en la frente y el dorso de la célula HJT alcanza 80nm , que supera mucho más el de este ejemplo, y el HJT se encuentra en todo el proceso de baja temperatura que no sobrepasa a 200°C , incluso el recocido. Por lo tanto, a partir del ejemplo de la galvanización de cobre, se puede comprobar que las células HJT son más seguras al haber usado de manera proporcionada pastas con bajo contenido de plata y con contenido de varios metales de bajo coste.

4. Prueba de fiabilidad y resultados

Las células de alta eficiencia HJT lleva una excelente calidad de pasivación, lo que requiere mayores exigencias de encapsulado del módulo. Con la optimización de la nueva tecnología de encapsulado, los módulos de alta eficiencia HJT conseguirán una mejor resistencia al oxígeno y al agua, lo que también garantiza la fiabilidad de los módulos con tecnología de bajo contenido de plata desde el nivel de módulo.

La norma IEC-61215 especifica diferentes pruebas de resistencia a la intemperie y envejecimiento, entre las que se incluyen alta temperatura y humedad (85°C + 85% HR) durante 1000 horas (DH1000), y ciclos de alta y baja temperatura (-40°C/85°C) durante 200 veces (TC200). Para validar al máximo los límites de las pastas con bajo contenido de plata, hemos realizado una prueba extrema 6 veces superior al estándar IEC sobre la base de pruebas estándar.

Seleccionamos 4 muestras de pastas con bajo contenido de plata, entre ellas, las pastas con bajo contenido de plata 1,0/2,0 y las V1/V2 representan los 4 modelos diferentes.

Las pruebas DH se muestran en la figura 4.1. Comprobando la prueba DH2000, la tasa de atenuación de la pasta de plata acendrada es del 1,92%, mientras que las tasas de atenuación de las pastas con bajo contenido de plata 1,0-V1, 1,0-V2 y 2,0-V2 son todas mejores que las de la pasta de plata acendrada, y después de la prueba DH6000 las tasas de atenuación son todas inferiores al 3%, lo cual es un resultado excelente; el resultado de la pasta con bajo contenido de plata 2,0-V1 es un poco peor, pero la tasa de atenuación puede controlarse dentro del 5% después de la prueba DH6000, lo cual también cumple con los requisitos de la norma IEC.

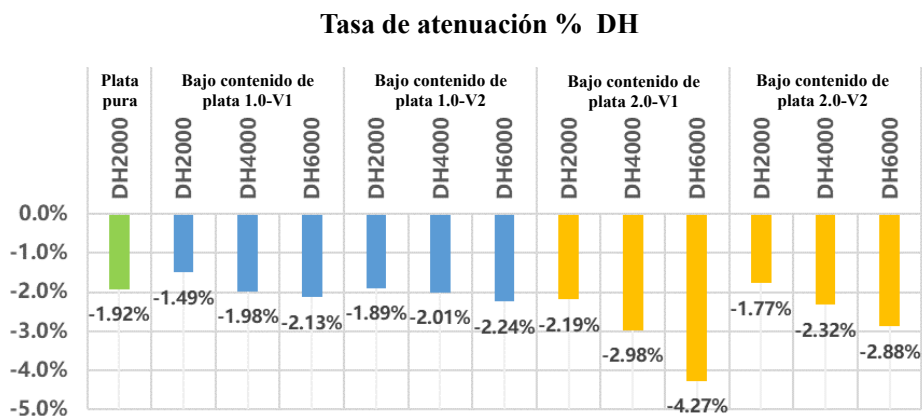


Figura 4.1 Gráfico de atenuación de la prueba DH

La prueba TC se muestra en la figura 4.2, la tasa de atenuación del módulo de pasta de plata acendrada es del 0,67% luego de la prueba TC400, mientras que los resultados de estas 4 pastas con bajo contenido de plata son mejores que los de la pasta de plata acendrada. Después de la prueba TC1200, la pasta con bajo contenido de plata 1.0-V1 incluso produce una ganancia del 0,57%, y las pastas con bajo contenido de plata 2.0-V1 y 2.0-V2 pueden considerarse casi sin atenuación, y sólo la pasta con bajo contenido de plata 1.0-V2 registra una atenuación ligeramente mayor, pero los resultados siguen siendo muy buenos.

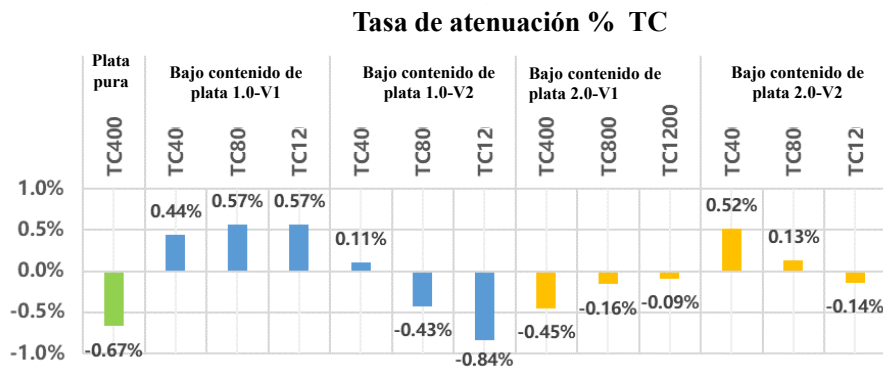


Figura 4.2 Diagrama de atenuación de la prueba TC

Resumiendo lo anterior, en comparación con los productos de pasta de plata acendrada, en las pruebas DH y TC, los productos que utilizan pastas con bajo contenido de plata pueden cumplir con los requisitos, e incluso son aún mejores, especialmente después de pasar pruebas conforme a condición de múltiples veces superiores a las normas IEC, la mayoría de ellos aún pueden controlarse dentro del 3%, lo que explica que los módulos de células que utilizan pastas con bajo contenido de plata pueden cumplir plenamente e incluso superar el nivel de rendimiento de aquellos módulos que usan pastas de plata acendrada.

5. Comparación de la generación de electricidad

Los resultados de las pruebas estrictas de envejecimiento de resistencia a la intemperie han demostrado la fiabilidad de módulos de heterounión con pastas con bajo contenido de plata, entonces, ¿afectaría el uso de pastas con bajo contenido de plata a la generación de electricidad del módulo? Por tal motivo, RISEN está supervisando y comparando la generación real de electricidad de los módulos de uso de pastas de plata acendrada y los de uso de pastas con bajo contenido de plata en la Central Empírica de la Base de Jintan, de la ciudad Changzhou.

La prueba empírica comenzó el 8 de febrero de 2023 y, con los datos de prueba recogidos durante varios meses, se puede observar que los tiempos equivalentes de generación de electricidad de ambos coinciden casi exactamente iguales, tal como se muestra en la figura 5.1, esto demuestra que el módulo de células que usan pastas con bajo contenido de plata lleva la misma capacidad de generación de electricidad que el módulo de células que utiliza pastas de plata acendrada, y que el uso de pastas con bajo contenido de plata no afecta a la generación de electricidad de productos de heterounión.

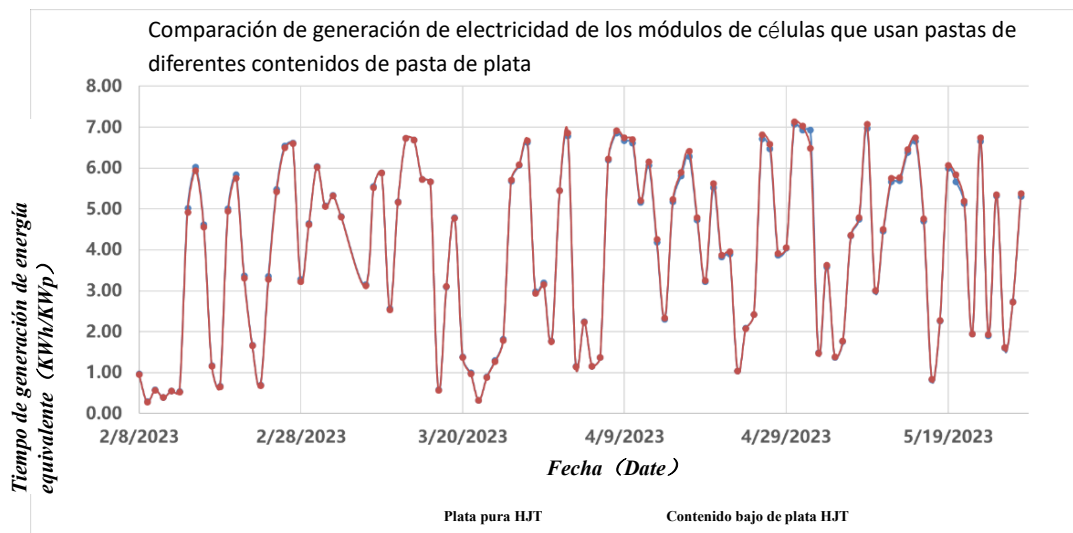


Fig. 5.1 Comparación de generación de electricidad entre los módulos con pasta de plata acendrada y los con pastas con bajo contenido de plata

6. Resumen

El presente artículo toma "EL DESARROLLO Y LA APLICACIÓN DE PASTAS DE METALIZACIÓN CON BAJO CONTENIDO DE PLATA" como tema y punto de partida introduce algunas de las exploraciones y logros de RISEN en el camino de la reducción de costes de la tecnología de heterounión. A través de la selección de materiales para las pastas con bajo contenido de plata, la optimización del proceso de recubrimiento de las pastas, el efecto de la luz, la electricidad y el calor sobre la pasta con bajo contenido de plata, así como la prueba de fiabilidad del lado del módulo y la comparación de la generación de electricidad, lo cual se ha comprobado plenamente la alta fiabilidad y la producción en masa de las pastas de metalización con bajo contenido de plata de RISEN. En la actualidad, con la aplicación industrial de la tecnología FUXI de heterounión, el consumo de plata acendrada en las células HJT de RISEN ha reducido a 10mg/W, que sitúa en el nivel líder del sector, se estima que disminuya 1mg/W trimestralmente en el futuro para hacer realidad la aplicación de pastas de metalización con un contenido de plata aún más bajo.

"Reducir costes y aumentar la eficiencia" es el eterno lema de todo el personal del sector fotovoltaico. RISEN seguirá reduciendo el coste de las células y módulos de heterounión mediante la aplicación de pastas de metalización con bajo contenido de plata, la localización de equipos, la aplicación de oblea ultrafina, etc., y al mismo tiempo mejora aún la eficiencia de las células y la fiabilidad de los módulos, con el fin de acelerar el proceso de industrialización de la tecnología de heterounión.

Referencias

[1] Citado de Nueva base de datos de la industria fotovoltaica de Shanghai CAITONG e-commerce S.A.

[2] Gráfico histórico del precio de la plata <https://zh-hans.bullionvault.com/silver-price-chart.do>.

[3] La conductividad (Wikipedia)

https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity_and_conductivity.

[4] Gráfico histórico de precios de los metales. *Metal-price* en el final del link necesita ser sustituido por *copper-price*, *aluminium-price*, *cinc-price*, *nickel-price* respectivamente. <https://markets.businessinsider.com/commodities/metal-price>.

[5] C M Liu, et al. ITO as a Diffusion Barrier Between Si and Cu[J]. Electrochem,2005.

(Fin)