



White Paper sobre os produtos HJT da série Hyper-ion da Risen Energy

Desenvolvimento e Aplicação da Pasta de Metalização com Baixo Teor de Prata

Agosto de 2023

Risen Energy Co., Ltd



SUMÁRIO

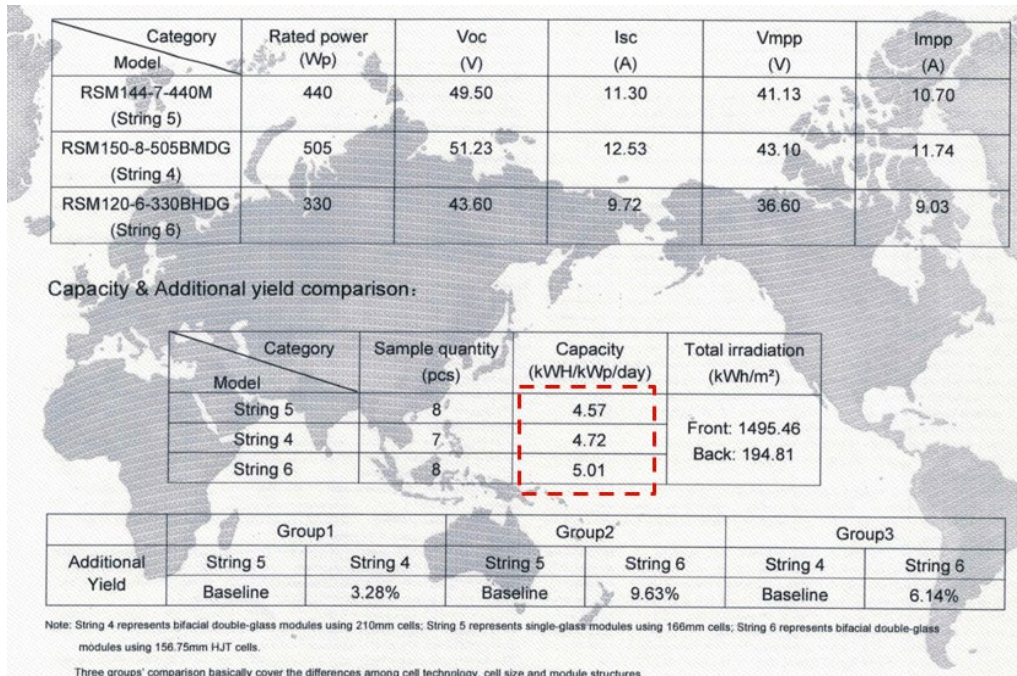
1	Introdução	1-4
1.1	Análise da composição de custo das células HJT	
1.2	Aplicação da pasta com baixo teor de prata para aplicação de redução de custos	
2	Lógica de desenvolvimento da pasta com baixo teor de prata	5-8
2.1	Condutividade Elétrica	
2.2	Reservas de cobre, alumínio, zinco e níquel metálicos	
2.3	Preços do cobre, alumínio, zinco e níquel metálicos	
3	Desenvolvimento e aplicação da pasta com baixo teor de prata	9-15
3.1	Uniformidade de revestimento da pasta com baixo teor de prata	
3.2	Efeitos da exposição da pasta com baixo teor de prata a luz, eletricidade e calor	
3.2.1	Teste de migração transversal de íons de metais de baixo custo	
3.2.2	Teste de difusão longitudinal de íons de metais de baixo custo após aquecimento e exposição a luz	
3.2.3	Teste de galvanoplastia de cobre	
4	Testes de confiabilidade e resultados	16-17
5	Comparação da geração de energia	18
6	Visão geral	19

1 Introdução

Se as células de polissilício tipo p (p -Poly) são denominadas como sendo de 1ª geração, as células tipo p com emissor e face posterior passivada (p -PERC ou passivated emitter and rear contact) denominadas como 2ª geração e, por sua vez, a célula tipo n com contatos passivados com óxido de efeito túnel (n -TOPCon) considerada como a 2.5ª geração de célula, a célula de heterojunção tipo n (n -HJT) deve ser merecidamente denominada como a célula de 3ª geração.

As células HJT, em virtude de suas muitas vantagens, representam a tecnologia de células de próxima geração. Por exemplo, a eficiência das células HJT atingiu o recorde mundial em células de silício cristalino, com expectativa de exceder 27%, mais próximo do limite teórico das células de silício cristalino. As células HJT não possuem apenas a vantagem da alta eficiência, mas também são naturalmente imunes a muitos tipos de atenuações comuns as gerações anteriores de células, como PID/LID, além de possuir um processo de fabricação simples e de baixo consumo de energia, com apenas quatro etapas principais de fabricação, e rendimento energético superior a 99%. Ademais, todo o processo de fabricação de células HJT é realizado sob baixa temperatura, menos de 200°C, e é compatível com wafers ultrafinos com menos de 90 μm . Juntamente com a célula sem busbars e a tecnologia Hyper-link de interconexão entre células, a tecnologia das células HJT contribuem para uma pegada de carbono ultrabaixa.

Os módulos HJT têm muitas vantagens de desempenho, incluindo um coeficiente de temperatura de potência estável, ultra-alta bifacialidade e excelente resistência a degradação de potência, que fazem dos módulos HJT os produtos com maior geração de energia. De acordo com a simulação de geração de energia por watt, a geração de energia dos módulos HJT é cerca de 6% maior do que a dos módulos PERC e cerca de 3% maior do que a dos módulos TOPCon. A Risen Energy também realizou um teste empírico de um ano em Yinchuan, China. Os dados mostraram que a geração de energia dos módulos bifaciais HJT foi cerca de 9.6% maior do que a dos módulos PERC monofaciais e cerca de 6.1% maior do que a dos módulos PERC bifaciais, como mostrado na Figura 11. Maior geração de energia reduzirá significativamente os custos BOS e o LCOE do sistema fotovoltaico, levando a maiores receitas provenientes da geração de energia aos investidores, assim como a redução da emissão de carbono, criando maior valor de carbono para os clientes no caso de comércio de créditos de carbono.



Atualmente, o desafio que precisa ser superado é a redução de custo. Como um resultado de anos de esforço por parte da Risen, juntamente com o desenvolvimento e progresso da indústria, o custo dos módulos HJT deve alcançar a equalização com o custo dos módulos TOPCon e até mesmo até o final de 2023 ou início de 2024.

1.1 Análise da composição de custo das células HJT

Na composição de custos das células HJT, os custos do wafer de silício, a pasta de metalização e a depreciação dos equipamentos representam 90% do custo total (como mostrado na Figura 1.2). Portanto, a estratégia de redução de custos das células HJT deve focar nesses por três aspectos. Entre eles, o custo do wafer de silício representa a maior participação com 55% da composição. À medida que os preços do polissilício caem, os custos do wafer de silício também estão caindo (como mostrado na Figura 1.3), mas eles ainda respondem a maior parte de todo o custo da célula HJT.

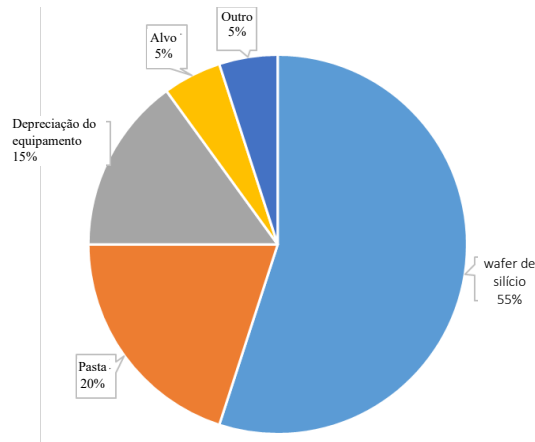
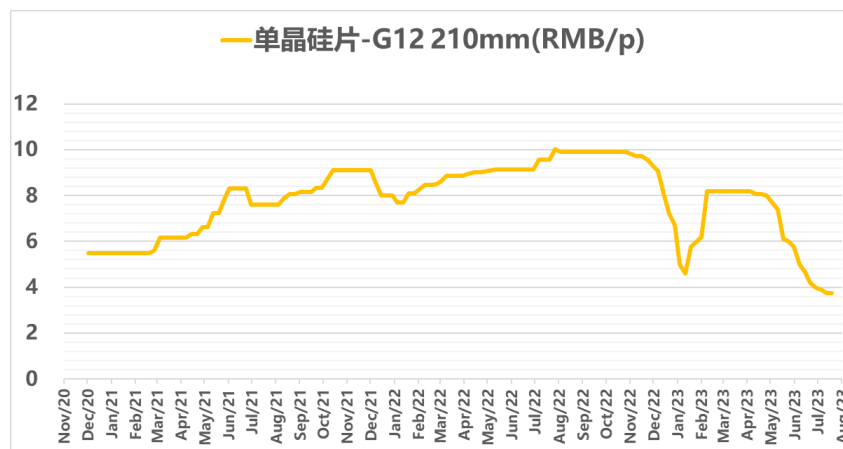


Figura 1.2 Composição dos custos das células HJT



(Fonte: Caitong Dianxin)

A Risen já deu início à produção em massa de wafers de silício ultrafinos com espessura inferior a 100 µm e explora a reutilização de aparas de lingotes de silício para redução de custos, o que tem atingido um efeito significativo. O próximo artigo a ser lançado pela Risen explorará mais sobre a produção em massa de wafers de silício ultrafinos em tecnologia de heterojunção e a confiabilidade do produto.

1.2 Aplicação da pasta com baixo teor de prata para aplicação de redução de custos

As pastas de metalização representam a segunda maior parcela do custo, cerca de 20%. As pastas de metalização atualmente usadas na indústria fotovoltaico são basicamente denominadas pastas

de prata, cujo teor de prata das pastas usadas nas células PERC e TOPCon é geralmente superior a 90%. Com base no gráfico de preços futuros da prata mostrado na Figura 1.4^[2], os preços da prata continuam a subir. Em decorrência da grande quantidade de pasta de prata de baixa temperatura utilizada na fabricação da célula HJT, a proporção do custo deste componente aumentará ainda mais. Atualmente, os profissionais da indústria de heterojunções estão procurando materiais alternativos que possam ter boa condutividade e tenham menores custos.

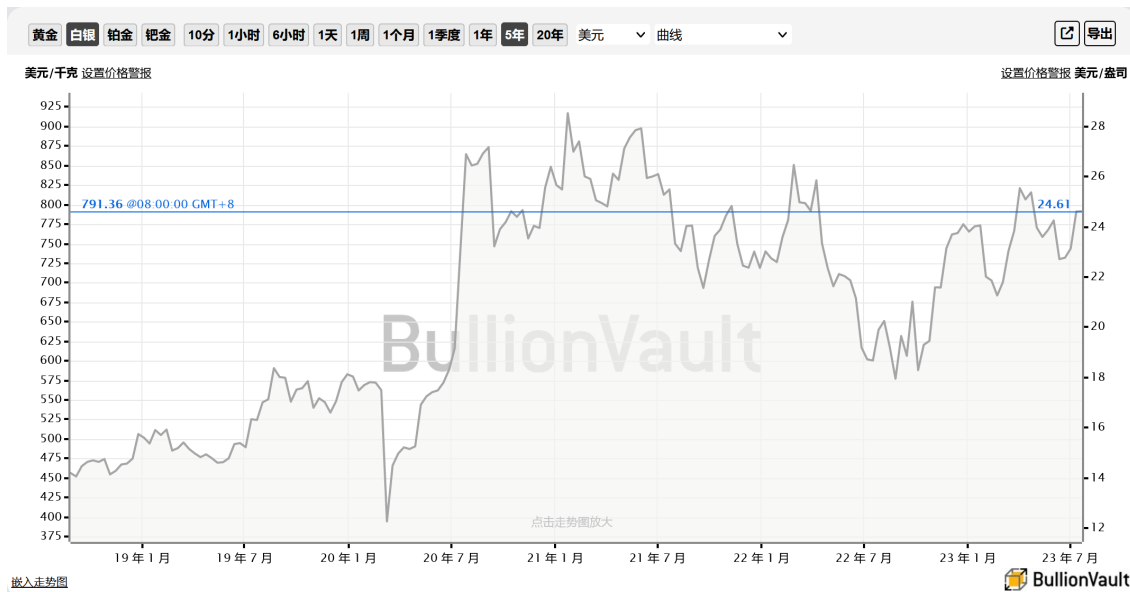


Figura 1.4 Gráfico de preços futuros da prata^[2]

Por meio de extenso trabalho de P&D e após validações rigorosas, a Risen desenvolveu e utiliza pasta com baixo teor de prata com metais de baixo custo em seus módulos Hyper-ion, além de ter traçado um roteiro tecnológico detalhado para reduzir continuamente o custo de células e módulos de heterojunção, garantindo a eficiência da célula e a confiabilidade do módulo. Neste relatório, a Risen explicará em detalhes a lógica do desenvolvimento da pasta com baixo teor de prata e os resultados de testes de desempenho dos produtos HJT Risen, Hyper-ion.

2 Lógica de desenvolvimento da pasta com baixo teor de prata

Como mencionado acima, o principal componente da atual pasta de metalização de células solares é a prata, que é um metal precioso de alto preço. Segundo o "Relatório de Recursos Minerais da China", preparado pelo Ministério de Recursos Naturais da República Popular da China em 2022, as reservas de minério de prata são de 71.783,66 toneladas, menores quando comparadas com as reservas de cobre, alumínio, zinco e níquel metálico. A vulnerabilidade aos preços futuros do mercado influencia significativamente no preço das células. Durante a jornada do desenvolvimento dos circuitos integrados de transistores, os materiais de ouro originalmente usados como conexões foram substituídos por materiais de cobre ou mesmo materiais de alumínio, o que reduz muito o custo dos circuitos integrados e promove a aplicação em larga escala dos circuitos integrados. De maneira semelhante, na indústria fotovoltaica, a substituição de metais preciosos da pasta de metalização de células é uma obrigatoriedade para atingir a redução de custos. Para escolher o metal de baixo custo mais adequado é preciso considerar três aspectos: a condutividade, as reservas e o preço do material.

2.1 Condutividade Elétrica

A Tabela 2.1^[3], apresenta a condutividade dos principais materiais metálicos. A prata, sendo o melhor material em termos de condutividade, é usada atualmente em grande quantidade nas pastas de metalização para células fotovoltaicas.

Tabela 2.1 Condutividade de diferentes metais^[3].

Sequência	Material	Condutividade σ , at 20°C (S/m)
1	Prata	6.30×10^7
2	Cobre	5.96×10^7
3	Cobre recozido	5.80×10^7
4	Ouro	4.11×10^7
5	Alumínio	3.77×10^7
6	Latão(5% Zn)	3.34×10^7
7	Cálcio	2.98×10^7
8	Ródio	2.31×10^7
9	Tungstênio	1.79×10^7

10	Zinco	1.69×10 ⁷
11	Latão(30% Zn)	1.67×10 ⁷
12	Cobalto	1.60×10 ⁷
13	Níquel	1.43×10 ⁷

2.2 Reservas de cobre, alumínio, zinco e níquel metálicos

Na China, as reservas de minério de cobre são de 34,947 milhões de toneladas, as de minério de bauxita são de 711,137 milhões de toneladas, as de minério de zinco são de 44,229 milhões de toneladas e as de minério de níquel são de 4,220 milhões de toneladas, conforme apresentado na Tabela 2.2. Os recursos de minério de zinco da China ficaram em segundo lugar nas reservas globais de recursos, representando 21% das reservas mundiais, enquanto que as reservas de cobre, alumínio e níquel representam 3,1%, 3,3% e 3,1% das reservas do mundo, respectivamente. Embora as proporções gerais das reservas de cobre, alumínio e níquel não sejam altas, são ainda mais promissoras do que as reservas de prata (cerca de 120.000 toneladas), conforme indicado na Figura 2.1.

Tabela 2.2 Reservas de cobre, alumínio, zinco e níquel
(excertos do Relatório de Recursos Minerais da China de 2022)

Nº	Mineral	Unidade	Reserva
1	Minério de cobre	Metal tonelada	34.947.900
2	Minério de bauxita	Minério tonelada	711.137.400
3	Minério de zinco	Metal tonelada	44.229.000
4	Minério de níquel	Metal tonelada	4.220.400

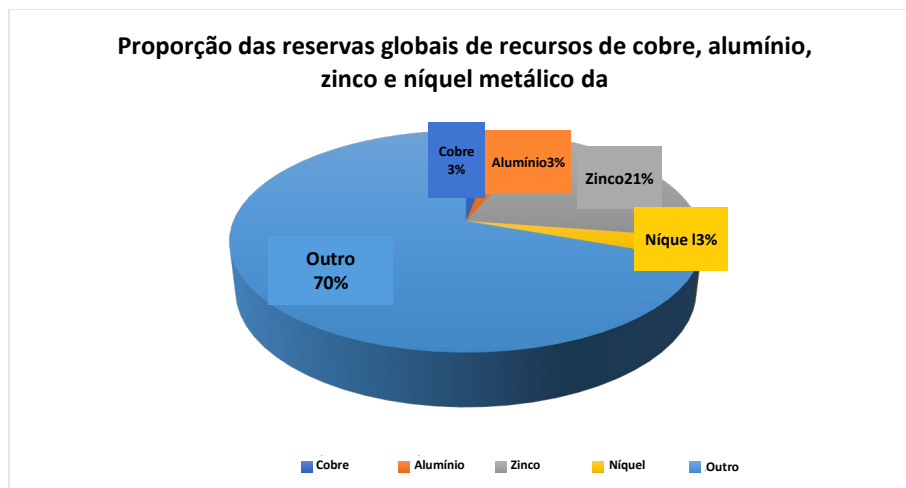


Figura 2.1 Proporção das reservas globais de recursos de cobre, alumínio, zinco e níquel metálicos

Fonte: Orient Securities

2.3 Preços do cobre, alumínio, zinco e níquel metálicos

A Figura 2.2^[4] demonstra as tendências de preços históricos de 5 anos para esses quatro metais, que atingiram o pico em 2022, todos em USD/tonelada. No momento em que este artigo foi elaborado, o preço do cobre era de US\$ 8.422/tonelada, o do alumínio de US\$ 2.198/tonelada, o do zinco de US\$ 2.347/tonelada e o do níquel de US\$ 20.809/tonelada, o que é muito barato em comparação com o preço da prata de US\$ 791.360/tonelada. Portanto, a estratégia atual na indústria é procurar como substituir a prata por metais de baixo custo.

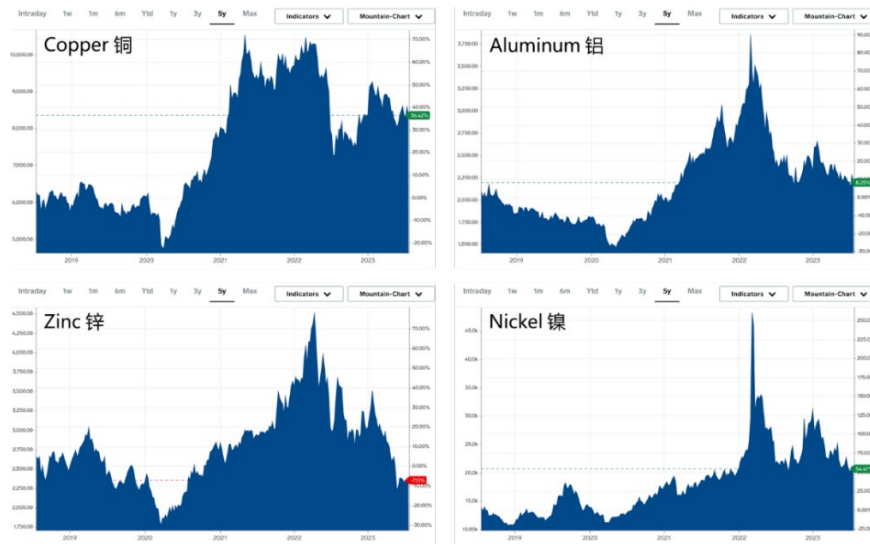


Figura 2.2 Gráfico histórico de tendência de preços de cobre, alumínio, zinco e níquel metálicos

Considerando os vários aspectos como condutividade elétrica, reservas e preço, conclui-se que os materiais alternativos mais adequados são cobre, alumínio, zinco e níquel.

Em relação a como substituir e qual material substituir, existem dois métodos técnicos principais na indústria: um deles é a utilização da galvanoplastia para obter a metalização sem prata. Entretanto, por enquanto, este processo não está maduro, requer o emprego de equipamentos e consumíveis caros, tratamento de efluentes e outros desafios, o que resultará na manutenção do custo da metalização, não permitindo cair rapidamente com a ausência de prata. Desta forma, a indústria tende a usá-lo como um meio de melhorar a eficiência em vez de reduzir os custos. Outro método é substituir a pasta de pura prata por pasta de baixa temperatura de metais de baixo custo, encapsuladas com prata. Essa pasta com baixo teor de prata é muito semelhante à pasta de prata pura, com a mesma morfologia e desempenho semelhante, além de ser compatível com as linhas de produção existentes sem requerir investimento em novos equipamentos, levando a uma redução significativa no custo de metalização.

A Risen, nos muitos anos de pesquisa e desenvolvimento de produtos de heterojunção, estabeleceu várias rotas de redução de custos e introduziu na atual estratégia de industrialização da tecnologia de metalização e produz em massa pasta com baixo teor de prata. Ademais, a Risen Energy também está trabalhando com fornecedores de materiais e fabricantes de equipamentos para desenvolver e otimizar continuamente materiais de metalização, processos e equipamentos de metalização com melhor desempenho e menor custo.

3 Desenvolvimento e aplicação da pasta com baixo teor de prata

A pasta com baixo teor de prata é feita de metais de baixo custo com um invólucro de prata. Caso o invólucro de prata seja quebrado, haverá o risco de exposição do metal de baixo custo, que geralmente é bastante reativo. Se este material se difundir na célula, formará um centro de recombinação que reduzirá a eficiência da célula. No desenvolvimento da pasta com baixo teor de prata, a Risen, juntamente com seus fornecedores, desenvolveu uma pasta com baixo teor de prata com bom desempenho na preparação de materiais, controle de processos e otimização de tecnologias de células e módulos.

3.1 Uniformidade de revestimento da pasta com baixo teor de prata

A figura 3.1 mostra a foto de FIB-SEM (Microscópios eletrônicos de varredura por feixe de íons focalizado), na qual o invólucro branco externo é de prata e a esfera interna é de metal de baixo custo. Pode-se ver claramente que o revestimento do invólucro é excelente e não nenhum risco de exposição dos metais de baixo custo.

A foto ampliada também mostra claramente que a espessura do invólucro de prata está entre 80 e 100 nm, o que pode efetivamente garantir que o invólucro de prata não seja fácil de danificar e pode evitar a exposição dos metais de baixo custo, conforme mostrado na Figura 3.1(b).

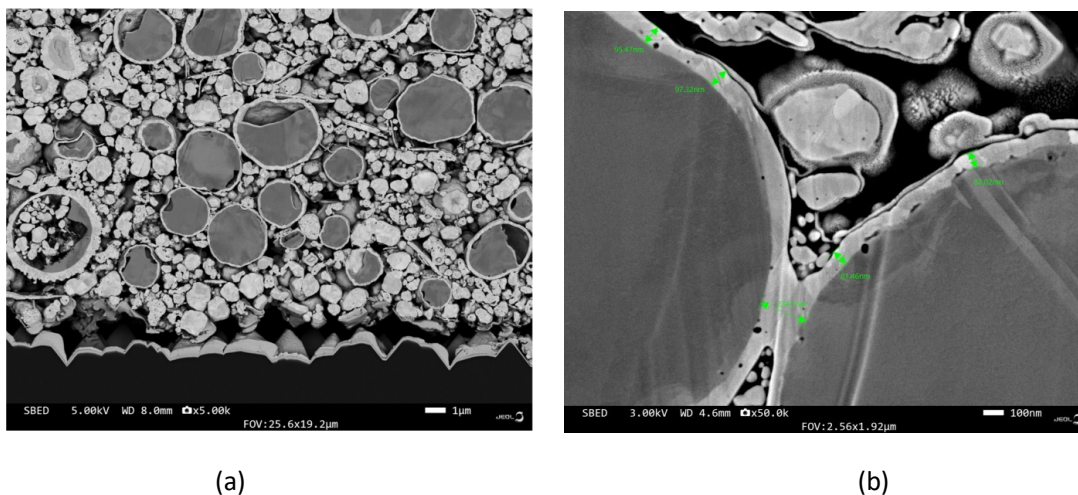


Figura 3.1 Fotos de FIB-SEM de pastas com baixo teor de prata de (a) e (b)

3.2 Efeitos da exposição da pasta com baixo teor de prata a luz, eletricidade e calor

Caso as células com pasta com baixo teor de prata sejam expostas à luz, eletricidade e calor por um longo período, o tratamento de envelhecimento acelerado poderá simular o estado da célula encapsulada no módulo após um longo período de operação. Vale a pena explorar se haverá enfraquecimento do revestimento de prata e se os íons metálicos de baixo custo se precipitarão com o envelhecimento da célula. Desta forma, a equipe de P&D da Risen verificou esas incertezas por meio de dois experimentos, descritos a seguir:

Experimento 1: exposição prolongada da célula a luz, com os eletrodos positivo e negativo da célula não conectados. O principal objetivo é verificar se houve precipitação dos metais de baixo custo. Em caso de haver, os metais de baixo custo devem difundir-se na superfície da célula, portanto, pode-se usar o XPS (do inglês X-ray Photoelectron Spectroscopy) para detectar migração horizontal dos íons de metal de baixo custo na superfície da célula.

Experimento 2: após um longo tempo de aquecimento no forno, a parte frontal e traseira da célula foram colocadas em curto-circuito e expostas à luz por um longo período de tempo. Após esse tratamento, o EDS (do inglês Energy Dispersive Spectroscopy) foi usado para testar a difusão longitudinal dos íons dos metais de baixo custo no interior da célula.

3.2.1 Teste de migração transversal de íons de metais de baixo custo

As amostras foram obtidas de células qualificadas usando circuito aberto e exposição de longa duração a luz. A área de detecção é mostrada na Figura 3.3 como um círculo com 400 μm de diâmetro no ponto médio das duas fingers, com profundidade de informação de cerca de 5 nm.



Figura 3.3 XPS (Migração lateral de íons metálicos de baixo custo)

Os resultados reais do teste da distribuição do espectro de energia do XPS são mostrados na Figura 3.4, onde o sinal de índio é muito forte, e nenhum sinal dos elementos metálicos de baixo custo é detectado na superfície da célula com até 5 nm de profundidade.

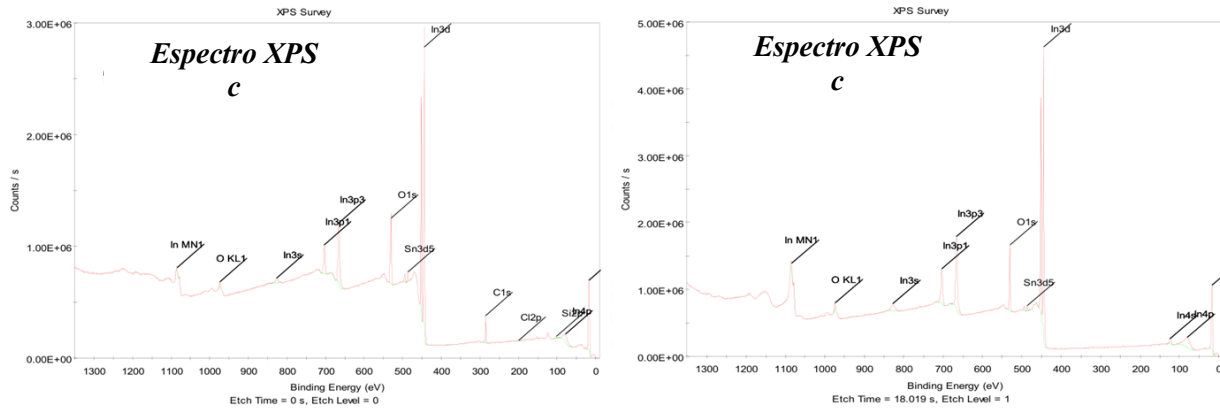


Figura 3.4 XPS (Espectroscopia de fotoelétrons de raios X)

Os resultados dos testes acima estão resumidos na Tabela 3.1. O ITO na superfície da célula é uma liga de óxido de índio e estanho, portanto, a presença de índio, estanho e oxigênio nos resultados é normal. Além disso, algumas impurezas também são encontradas na superfície da célula, sendo que o silício é causado pelo pó de silício que cai sobre a célula após o corte, durante o processo de fabricação da amostra, enquanto que o carbono e o cloro são provenientes do ar. Os resultados mostram que, após o teste de envelhecimento da célula, não há nenhum fenômeno de enfraquecimento do invólucro de revestimento de prata e precipitação de íons metálicos de baixo custo, o que indica que, a exposição a luz, eletricidade e calor não causarão degradação à pasta com baixo teor de prata.

Tabela 3.1 Resumo dos resultados medidos da espectroscopia de fotoelétrons de raios X

Profundidade da amostra	Resultados Unidade: At%					
	In	O	C	Sn	Si	Cl
S	19.6	39.29	35.22	1.08	3.83	0.98
Ejeção de 5 nm	40.22	58.56	/	1.22	/	/

3.2.2 Teste de difusão longitudinal de íons de metais de baixo custo após aquecimento e exposição a luz

Considerando que a alta temperatura e a energização aceleram a penetração de íons metálicos de baixo custo, a célula é primeiro aquecida por um período longo e, em seguida, os lados positivo e negativo são conectados e a célula é submetida a iluminação prolongada, de modo a colocar a célula em uma condição normal de funcionamento, e então a difusão de íons metálicos de baixo custo é observada.

A célula de amostra foi cortada pelo FIB-SEM e, em seguida, digitalizada em camadas com EDS, conforme mostrado na Figura 3.5, cores diferentes representam elementos diferentes: vermelho para oxigênio, rosa para silício, verde para elementos metálicos de baixo custo e índigo para prata. Como pode ser visto na figura, os metais de baixo custo se encontram apenas dentro dos invólucros de prata.

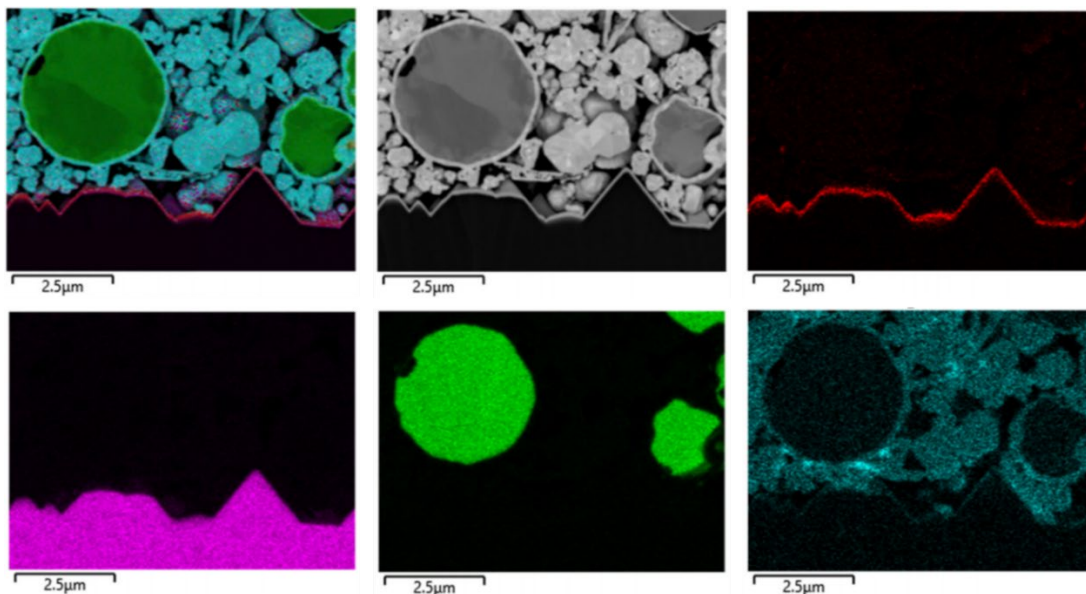


Figura 3.5 Diagramas em camadas FIB-SEM e EDS

Para detectar se os elementos metálicos de baixo custo entraram na profundidade da célula, selecionamos a posição de 4 pontos sob o finger construído com pasta com baixo teor de prata, com diferentes profundidades, selecionados para detecção com precisão, conforme mostrado na Figura 3.6.

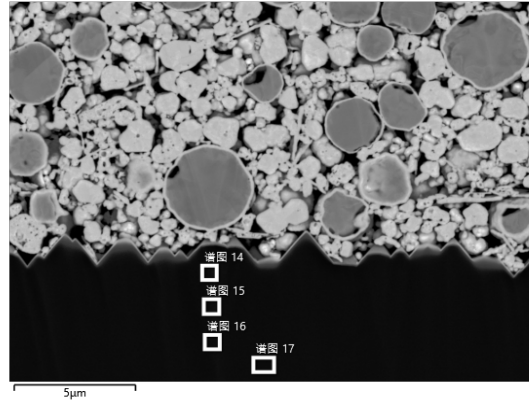


Figura 3.6 FIB-SEM (Microscópios eletrônicos de varredura por feixe de íons focalizado)

A figura 3.7 mostra a detecção de cada elemento em cada posição da figura 3.6. No substrato de silício sob o finger, há apenas sinal do elemento silício em todos os 4 pontos, e nenhum sinal dos elementos metálicos de baixo custo é encontrado.

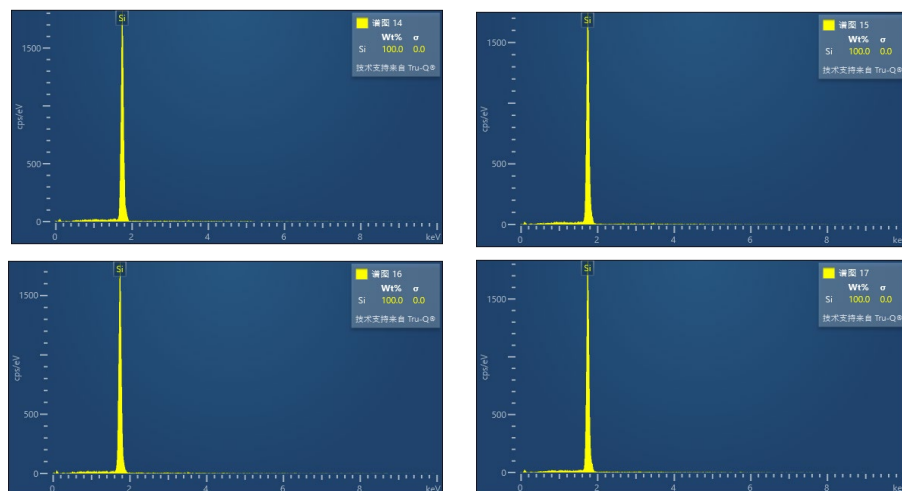


Figura 3.7 EDS (Espectrômetro de dispersão de energia)

Conclui-se então que, por meio de vários testes no interior da célula, pode-se observar que nem as altas temperaturas, nem a a exposição a luz em curto-circuito por longo período levaram a precipitação de íons dos metais de baixo custo e a danos no invólucro de prata. Além disso, observou-se que os metais de baixo custo contados na pasta com baixo teor de prata não difundem para o interior da célula após um longo período de operação normal.

3.2.3 Teste de galvanoplastia de cobre

Cobre, alumínio, zinco e níquel podem ser usados como metais de baixo custo para as pastas com baixo teor de prata. Dentre os quais, o cobre costuma ser o mais preocupante em termos de difusão e penetração no interior da célula, causando degradação do desempenho da célula. Desta forma, considerando que o cobre seja usado, um teste rigoroso e extremo foi realizado para verificar se tal problema ocorre quando o cobre é deixado em contato direto com a célula HJT.

Assim, usamos a galvanização de cobre para evidências circunstâncias^[5], conforme mostrado na Figura 3.8. Um camada de 10 nm de ITO foi depositada na célula de amostra, sobre a qual o cobre galvanizado foi sobreposto.

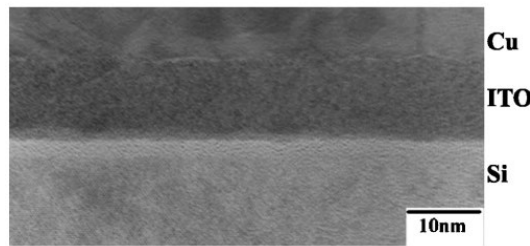


Figura 3.8 Diagrama esquemático do revestimento de cobre

A resistência de folha da célula de amostra foi testada depois de passar por diferentes temperaturas de recozimento, conforme mostrado na Figura 3.9^[5]. Quando a temperatura de recozimento é menor que 650°C, a resistencia de folha não foi alterada, mas quando a temperatura de recozimento atingiu mais de 700°C, a resistencia de folha mudou consideravelmente.

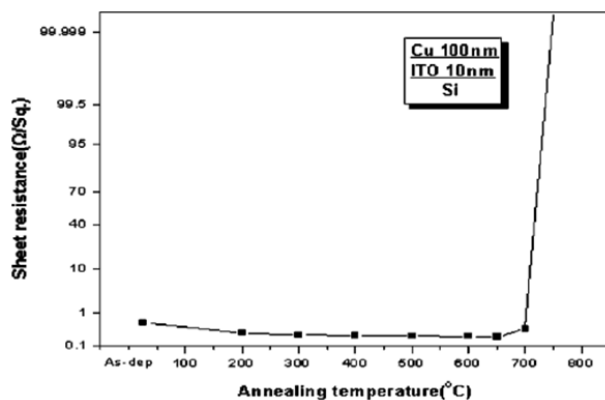


Figure 1. Sheet resistance variations of the Cu/ITO/Si stacked films with the RTA treatment.

Figura 3.9 Gráfico do teste de resistência quadrada

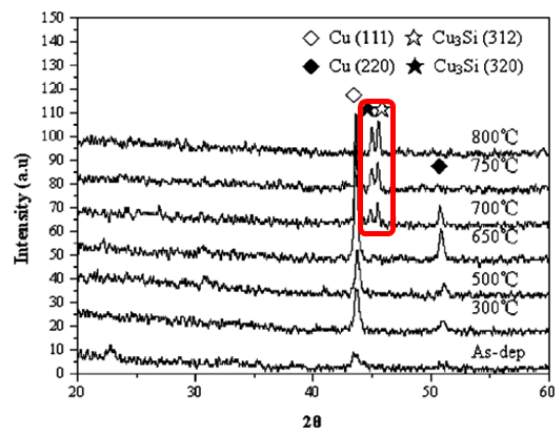


Figure 5. XRD patterns of Cu/ITO/Si sample before and after annealing.

Figura 3.10 XRD

Por meio de testes de XRD (Difração de Raios X), conforme mostrado na Figura 3.10 [5], verificou-se que a liga Cu_3Si foi encontrada quando a temperatura de recozimento ultrapassou 700°C . A difusão de elementos de cobre formou armadilhas de nível profundo, que destruíram o efeito de passivação e causaram uma mudança drástica no desempenho.

Conforme o estudo acima, uma camada com apenas 10 nm de ITO na superfície do wafer de silício pode bloquear efetivamente a penetração de íons de cobre em temperaturas inferiores a 650°C . A espessura da camada de ITO na frente e atrás da célula HJT chega a 80 nm, o que é muito mais do que esse exemplo. Além disso, todo o processo de fabricação da célula HJT é realizado sob baixa temperatura, incluindo o processo de recozimento que não excederá 200°C . Assim, a galvanoplastia de cobre é um contra argumento de que a célula HJT será mais segura com uma pasta com baixo teor de prata contendo uma variedade de metais de baixo custo.

4 Testes de confiabilidade e resultados

As células de alta eficiência da HJT possuem efeito de passivação superior, o que exige mais do encapsulamento do módulo. Com a otimização da nova tecnologia de encapsulamento, os módulos de alta eficiência HJT alcançarão melhor resistência ao oxigênio e à água, o que garante a confiabilidade dos módulos com baixo teor de prata.

A norma IEC-61215 especifica diferentes testes de intemperismo e envelhecimento, incluindo Teste de Calor Úmido (85°C + 85% de umidade relativa) por 1.000 horas (DH1000) e Teste de Ciclos Térmicos (-40°C e 85°C) por 200 ciclos (TC200). A fim de maximizar a verificação do limite da pasta com baixo teor de prata, testes limites baseados em 6 vezes o teste padrão IEC foram realizados.

Quatro amostras foram selecionadas para a pasta com baixo teor de prata, dentre as quais, o baixo teor de prata de 1.0/2.0 com V1/V2 representam quatro modelos diferentes.

Os resultados do teste DH são mostrados na Figura 4.1. Segundo o teste DH2000, a taxa de degradação da pasta de prata pura é de 1.92%. Notavelmente, as amostras com baixo teor de prata 1.0-V1, 1.0-V2 e 2.0-V2 são melhores do que a pasta de prata pura. Além disso, a degradação após o DH6000 é inferior a 3%, o que é um resultado excelente. Os resultados para baixo teor de prata 2.0-V1 são um pouco piores, mas a degradação após o DH6000 ainda pode ser controlada em até 5%, o que também atende aos requisitos da norma IEC.

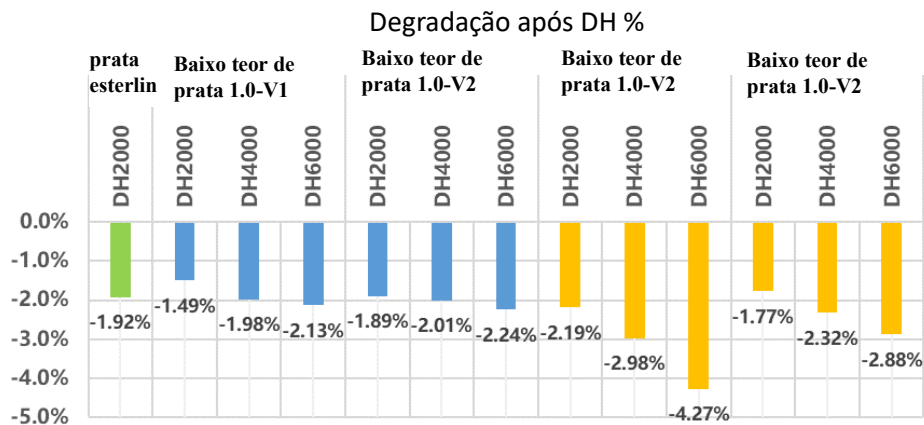


Figura 4.1 Degradação após o teste DH

A Figura 4.2 mostra os resultados dos testes de Ciclos Térmicos (TC). A degradação do módulo com pasta de prata pura após TC400 é de 0.67%, enquanto os resultados das quatro pastas com baixo teor de prata são todos melhores. Após o teste TC1200, a pasta com baixo teor de prata 1.0-V1 produz até mesmo um ganho de 0.57%, enquanto que as pastas com baixo teor de prata 2.0-V1 e 2.0-V2 mostraram quase nenhuma degradação. Apenas a pasta com baixo teor de prata 1.0-V2 apresentou uma degradação um pouco maior, mas os resultados ainda são muito bons.

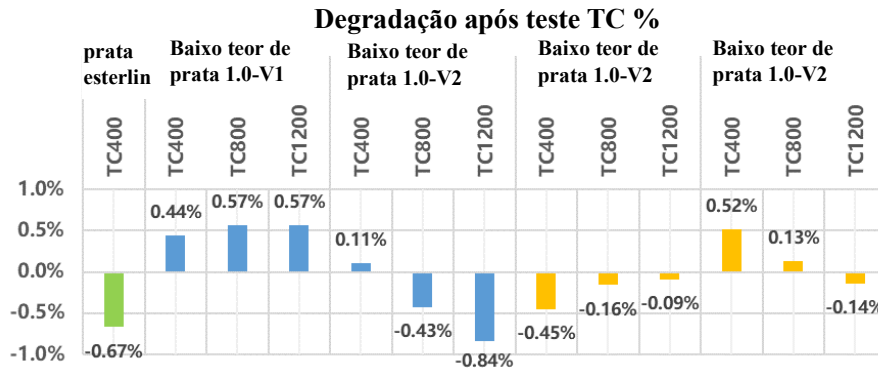


Figura 4.2 Degradação do teste TC

De modo resumido, em comparação com os produtos de pasta de prata pura, os testes DH e TC dos produtos que usam pasta com baixo teor de prata podem atender aos requisitos, ou ainda melhor, especialmente depois de passar por testes de múltiplas vezes o padrão IEC, a degradação pode ser controlada, ficando em até de 3%. Os resultados indicam que os módulos que usam pasta com baixo teor de prata podem atender plenamente ou até mesmo exceder o nível de desempenho dos módulos que usam células com pasta de prata pura.

5 Comparação da geração de energia

Os resultados dos testes de resistência às intempéries e envelhecimento demonstraram a confiabilidade dos módulos HJT com a pasta com baixo teor de prata. Então pode o uso da pasta com baixo teor de prata afetar a geração de energia dos módulos? Para este fim, as gerações reais de energia dos módulos que utilizam a pasta de prata pura e dos módulos que utilizam a pasta com baixo teor de prata são monitoradas e comparadas pela usina FV da Risen Energy na base de Changzhou Jintan.

O teste de demonstração foi iniciado em 8 de fevereiro de 2023. Com base nos dados coletados durante vários meses, pode-se observar que os tempos de geração de energia equivalentes dos dois são quase exatamente sobrepostos, conforme mostrado na Figura 5.1, o que prova que os módulos que usam células com pasta com baixo teor de prata têm a mesma capacidade de geração de energia que os módulos que usam células com pasta de prata pura. Ademais, observa-se também que o uso de pastas com baixo teor de prata não afeta a geração de energia dos productos HJT.

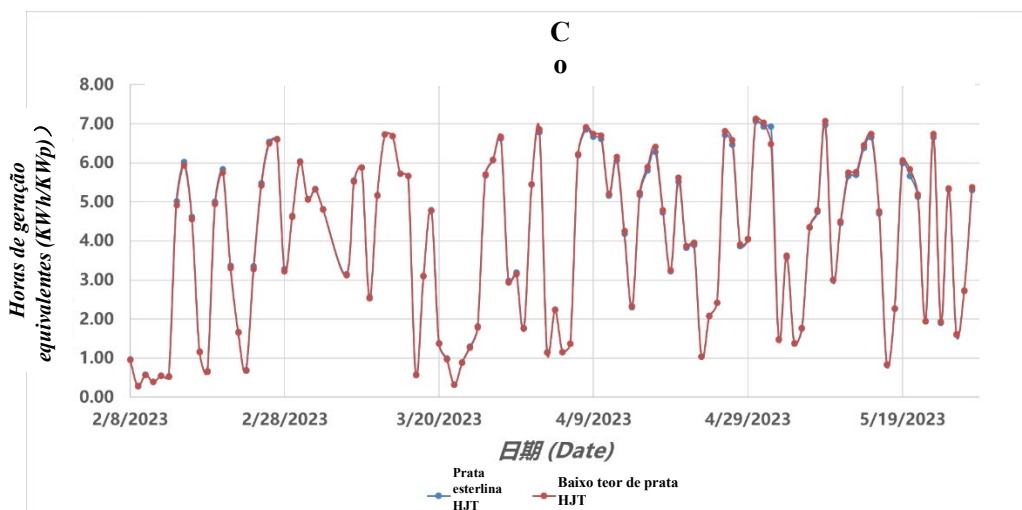


Figura 5.1 Comparação da geração de energia entre módulos de pasta de prata pura e módulos da pasta com baixo teor de prata

6 Visão geral

O presente relatório toma como base o "desenvolvimento e a aplicação de pastas de metalização com baixo teor de prata" e relata algumas das explorações e conquistas da Risen no processo de redução de custos na tecnologia de heterojunção. Através da seleção do material da pasta com baixo teor de prata, a otimização do processo de revestimento da pasta, a influência da exposição a luz, calor e eletricidade no desempenho da pasta com baixo teor de prata, os testes de confiabilidade e a comparação da geração de energia, está completamente provado que a pasta de metalização com baixo teor de prata da Risen tem alta confiabilidade e a capacidade de produção em massa. Atualmente, com a aplicação industrial da tecnologia HJT Hyper-ion, o consumo de prata pura das células HJT da Risen foi reduzido para 10mg/W, líder na indústria. Estima-se que caia 1mg/W por trimestre no futuro, para conseguir a aplicação de pastas de metalização com teor de prata ainda mais baixo.

"Reduzir custos e aumentar a eficiência" é o eterno objetivo da indústria fotovoltaica. A Risen continuará a reduzir o custo de células e módulos HJT por meio da aplicação de pastas de metalização com baixo teor de prata, da fabricação de equipamentos no mercado interno e da aplicação de wafers de silício ultrafinos, melhorando ainda mais a eficiência das células e a confiabilidade dos módulos e acelerando a industrialização da tecnologia HJT.

Referências

- [1] Citado do novo banco de dados da cadeia da indústria fotovoltaica de Caitong Dianxin
- [2] Gráfico Histórico do Preço da Prata <https://zh-hans.bullionvault.com/silver-price-chart.do>.
- [3] Condutividade de Wikipédia
https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity_and_conductivity.
- [4] Gráfico histórico de preços do metal, o preço do metal no final do link precisa ser substituído por preço do cobre, preço do alumínio, preço do zinco, preço do níquel
<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.