

1.2.5 Eletrólitos e Separadores para Células de Íon-Lítio

Tendo examinado anteriormente os materiais ativos que constituem os eletrodos positivo e negativo, nos voltamos para os componentes cruciais, porém frequentemente negligenciados, que compõem o ambiente interno de uma célula de íon-lítio: o **eletrólito** e o **separador**. Esses componentes não armazenam energia por si sós, mas são absolutamente essenciais para permitir o transporte de íons e garantir a operação segura e estável de todo o sistema.

0 Eletrólito: Uma Supervia de Íons

O papel fundamental do eletrólito é atuar como um meio que conduz íons entre os eletrodos positivo e negativo dentro da célula. Em qualquer célula eletroquímica geral, um eletrólito consiste em um **solvente** no qual um sal, ácido ou base é dissolvido para fornecer íons móveis.

Por que Não Aquoso? A Limitação de Tensão da Água

Algumas químicas de bateria, como a de chumbo-ácido, usam eletrólitos **aquosos** (à base de água). No entanto, a água tem uma limitação eletroquímica fundamental: ela se dissocia em gases de hidrogênio e oxigênio a um potencial de aproximadamente 2 volts. Isso torna a água um solvente inadequado para qualquer célula de bateria que opere significativamente acima de 2 volts. Embora o ácido sulfúrico em uma célula de chumbo-ácido eleve ligeiramente essa tensão de decomposição, permitindo uma célula de ~2,1V, não se pode ir muito além disso.

Como as células de íon-lítio normalmente têm tensões de operação bem acima de 3 volts, um eletrólito aquoso se decomporia imediata e violentamente. Portanto, as células de íon-lítio **devem usar eletrólitos não aquosos** compostos por solventes orgânicos e um sal específico à base de lítio. Em uma célula de íon-lítio, este eletrólito atua puramente como um condutor de íons e não participa das reações primárias de carga e descarga.

Os Componentes: Solventes Orgânicos e Sais de Lítio

O eletrólito em uma célula de íon-lítio é uma mistura cuidadosamente formulada.

- **Os Solventes:** Uma mistura de compostos orgânicos é usada para alcançar propriedades desejáveis, como bom desempenho em uma ampla faixa de

temperatura e degradação lenta ao longo do tempo. Solventes comuns incluem:

- Carbonato de Etileno (EC)
- Carbonato de Propileno (PC)
- Carbonato de Dimetila (DMC)
- Carbonato de Etil Metila (EMC)
- Carbonato de Dietila (DEC)

EC	PC	DMC	EMC	DEC
$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C} - \text{CH} \\ \quad \quad \\ \quad \quad \text{CH}_3 \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} $

Uma característica estrutural comum dessas moléculas é uma **ligação dupla entre um átomo de carbono e um de oxigênio (C=O)**. Essa ligação cria uma leve polarização elétrica na molécula, que é o que lhe permite dissolver o sal de forma eficaz.

- **0 Sal:** O sal dissolvido fornece os íons de lítio móveis que atuam como portadores de carga. O sal mais comumente usado, de longe, é o **hexafluorofosfato de lítio (LiPF₆)**. Alternativas menos comuns incluem o tetrafluoroborato de lítio e o perclorato de lítio. Como o sal é o componente ativo portador de carga, é comum na indústria referir-se a um eletrólito simplesmente por seu sal (por exemplo, "um eletrólito de LiPF₆"), com a presença da mistura de solventes orgânicos sendo implícita.

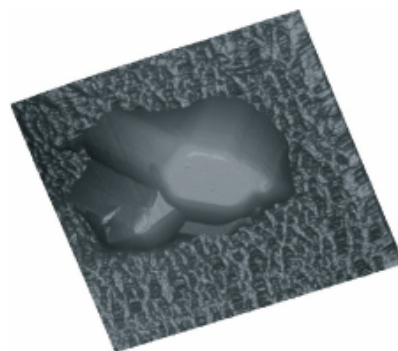
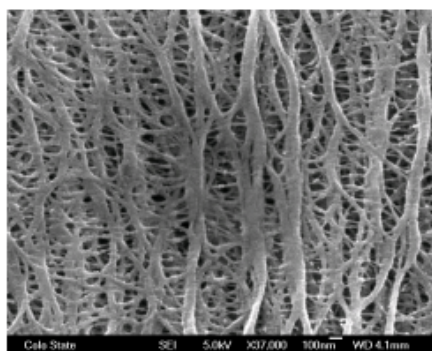


0 Separador: A Barreira de Segurança Crítica

O **separador** é uma membrana permeável colocada fisicamente entre os eletrodos positivo e negativo. Sua função é dupla e absolutamente crucial para a segurança e o desempenho:

1. **Isolamento Elétrico:** É um isolante eletrônico que impede mecanicamente que os eletrodos positivo e negativo se toquem. O contato direto causaria um **curto-circuito** interno, levando à rápida geração de calor, **fuga térmica** e um potencial incêndio ou explosão.
2. **Condução Iônica:** O separador é microporoso, o que significa que é preenchido com pequenos orifícios. Esses poros são grandes o suficiente para que o eletrólito permeie a membrana e para que os íons de lítio passem livremente, mas são muito pequenos para que as partículas do eletrodo entrem em contato umas com as outras.

A olho nu, um separador parece uma folha muito fina de plástico branco. Sob um microscópio, no entanto, sua estrutura fibrosa e porosa torna-se clara.



Uma imagem de microscópio eletrônico de varredura revela que os poros no separador são muitas vezes menores que uma única partícula de eletrodo, ilustrando eficazmente como ele pode bloquear as partículas enquanto permite a passagem dos íons, que são muito menores.

Os Coletores de Corrente: Condutores de Elétrons

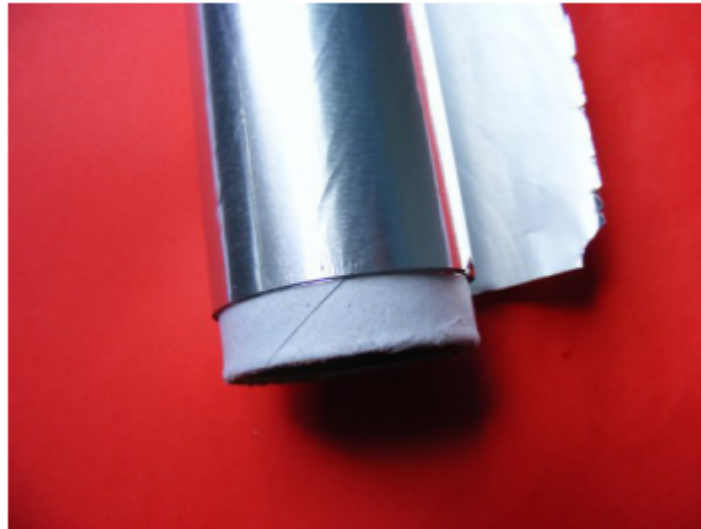
Os **coletores de corrente** são finas folhas de metal sobre as quais os materiais ativos do eletrodo são depositados. Seu propósito é conduzir elétrons das milhões de pequenas partículas do eletrodo para as abas ou terminais externos da célula. Essas folhas devem ser capazes de suportar o ambiente químico altamente reativo e agressivo dentro da célula sem corroer ou degradar. A escolha do metal é, portanto, muito específica e baseia-se na estabilidade eletroquímica em diferentes tensões.

- **Coletor de Corrente do Eletrodo Positivo:** Em praticamente todas as células comerciais de íon-lítio, este é feito de **folha de alumínio (Al)**. O

alumínio é eletroquimicamente estável e não reage nos altos potenciais (tipicamente acima de 3 volts) encontrados no eletrodo positivo.

- **Coletor de Corrente do Eletrodo Negativo:** Este é quase sempre feito de **folha de cobre (Cu)**. O cobre é estável nos baixos potenciais (tipicamente abaixo de 2 volts) característicos do eletrodo negativo.

Essas folhas são muito semelhantes em natureza à folha de alumínio doméstica comum, mas são projetadas para serem muito mais finas — muitas vezes com cerca de 20 microns de espessura — para maximizar a densidade de energia da célula.



Conclusão: O Sistema Interno Completo

Em resumo, os componentes internos de uma célula de íon-lítio trabalham juntos como um sistema finamente ajustado. O **eletrólito**, uma mistura de solventes orgânicos e um sal como o **LiPF₆**, fornece o meio para o transporte de íons de lítio. Este sal se dissocia em um cátion de lítio positivo (Li⁺) e um ânion negativo (PF₆⁻).

Um aspecto crítico desta química, revisitado de uma aula anterior, é a formação de **ácido fluorídrico (HF)**. Se quantidades vestigiais de água estiverem presentes no eletrólito, o hidrogênio da água pode se combinar com o flúor do ânion PF₆⁻ para criar este ácido altamente corrosivo, que lentamente dissolve e degrada os componentes internos da célula. É por isso que o processo de fabricação deve ocorrer em uma "sala seca" de umidade ultrabaixa.

O **separador**, uma membrana porosa e não condutora, garante a segurança ao evitar curtos-circuitos enquanto permite o fluxo de íons. Finalmente, os **coletores de corrente**, feitos de finas folhas de alumínio e cobre, fornecem o caminho elétrico essencial para que os elétrons entrem e saiam dos eletrodos. Com este quadro completo dos componentes da célula, podemos

agora nos voltar para questões mais amplas sobre os recursos necessários para construí-los.