

# 黄蓍胶在硅负极锂离子电池中的应用

和帅帅, 刘 健\*, 龚正良, 甘礼惠, 龙敏南

(厦门大学能源学院, 福建 厦门 361102)

**摘要:** 黏结剂在硅基锂离子电池中的用量虽少, 但它却是电池性能的重要影响因素之一。本文使用水溶性聚合物黄蓍胶作为一种新型的硅基锂离子电池黏结剂, 与较为常见的黏结剂羧甲基纤维素钠 (CMC) 在循环性能、倍率性能、循环伏安特性以及电化学阻抗等方面进行了分析与比较, 利用扫描电镜 (SEM) 对锂电池循环前后的极片材料进行了表征。实验结果显示, 采用 CMC 和黄蓍胶作为硅基锂离子电池黏结剂时, 首圈在 210 mA/g 的电流密度下, 放电比容量分别为 2 808.7 和 3 178.7 mAh/g, 首次库伦效率分别为 68.84% 和 83.64%; 此后在 420 mA/g 的电流密度下循环 100 圈后的放电比容量分别为 485.7 和 1 360.1 mAh/g, 甚至经过 200 圈的长期循环后, 使用黄蓍胶作为黏结剂的电池放电比容量仍达到 1 056 mAh/g。实验证明, 采用黄蓍胶作黏结剂的硅负极锂离子电池的充放电循环性能较为优异, 有望成为一种新型且性能优异的水溶性硅负极锂离子电池黏结剂。

**关键词:** 锂离子电池; 硅纳米颗粒; 黄蓍胶; 水系黏结剂; 电化学性能

**中图分类号:** TQ 150

**文献标志码:** A

如今, 我们的日常生活已经离不开锂离子电池技术的支持, 如锂离子电池已经在便携式电子设备、电动自行车、电动汽车等领域的市场中发挥着不可替代的作用。尽管如此, 锂离子电池仍需要不断满足高新技术领域提出的高要求, 例如: 能量密度更高、使用寿命更长、安全性能更好、制造成本更低等。为了满足这些要求, 探索新型的锂离子电池材料, 成为了提升电池性能的主要研究方向<sup>[1]</sup>。

硅基锂离子电池的负极材料具有非常高的理论比容量 (4 200 mAh/g), 是传统石墨电极材料 (372 mAh/g) 的十几倍, 硅负极具有一个适宜的放电电位平台, 硅材料在自然界中含丰富、环境友好、化学性质相对稳定, 是一种较为理想的锂离子电池负极材料。但是硅负极材料在充放电过程中有着比较明显的体积膨胀效应, 硅颗粒的体积变化较大 (>300%), 体积变化产生较高的内应力, 使得硅的形态粉碎, 电极材料粉化、脱落, 极大的影响了电池

收稿日期: 2020-02-29

录用日期: 2020-04-22

基金项目: 国家自然科学基金 (21978249)

\*通信作者: jianliu@xmu.edu.cn

的循环稳定性<sup>[2]</sup>。目前主要通过制备硅碳复合材料和纳米结构的硅材料，以及研发高性能的黏结剂来解决这个问题。其中前两种材料的制备过程较为复杂，且造价昂贵，因此研发高性能的黏结剂成为改善硅基锂离子电池性能的一种有效途径。

黏结剂在锂离子电池中扮演着重要的作用，它将电极的活性物质、导电添加剂和集流体连接为一个整体，对电池性能的具有着重要影响<sup>[3, 4]</sup>。根据溶剂的不同可以分为溶于有机溶剂的油性黏结剂和溶于水的水性黏结剂。传统的油性聚偏氟乙烯（PVDF）作黏结剂时需要溶解到 N-甲基吡咯烷酮（NMP）溶剂中，而有机溶剂价格昂贵、具有毒性且易燃易爆，且 PVDF 黏结剂的电子和离子电导性较差，对硅基锂离子电池的性能提升比较小，极大地限制了 PVDF 黏结剂的发展<sup>[5]</sup>。

与油性黏结剂相比，水性黏结剂绿色环保而且价格低廉，目前，对于水性黏结剂的研究也越来越广泛。研究较为普遍的硅负极锂离子电池水溶性聚合物黏结剂主要有：羧甲基纤维素钠（CMC）、海藻酸钠（SA）、瓜尔胶（GG）和聚丙烯酸钠（NaPAA）<sup>[6-8]</sup>等。研究发现，这些水溶性聚合物分子具有大量的羧基（-COOH）和羟基（-OH）等极性官能团，能够与被黏结物质（如活性物质硅颗粒表面的氧化硅层）形成大量的氢键，具有较强的相互作用力。而且聚合物的链状结构（如线性或者体型对活性物质的包裹性）对活性物质硅的体积膨胀能够有一个缓冲的作用，使这些极性水溶性聚合物黏结剂能够有效地限制硅负极材料在充放电过程中的体积变化，有效地提升硅基锂离子电池的电化学性能<sup>[9, 10]</sup>。

黄蓍胶（tragacanth gum），易溶于水且环境友好可再生，热稳定性良好，较低浓度溶于水就能形成黏性较强的水凝胶，主要分子成分是以半乳糖残基为主链，阿拉伯糖残基为支链的水溶性阴离子多糖，其主要成分分子结构具有较多的支链且含有大量的羧基（-COOH）和羟基（-OH）等极性官能团<sup>[11, 12]</sup>。因此选用黄蓍胶作为硅负极锂离子电池黏结剂，通过与 Si 纳米颗粒之间形成较强的相互作用力，从而提高 Si 负极的充放电循环稳定性。本实验是通过将黄蓍胶与常见的 CMC 黏结剂比较，在充放电循环性能、倍率性能以及电化学阻抗等方面进行对比分析，再根据对电极的表征，研究两种黏结剂/硅电极的电化学性能。

## 1 实 验

### 1.1 试 剂

CMC（化学纯，黏度 800-1200mPa s）购于阿拉丁公司，黄蓍胶（纯度 99%，黏度 1100 mPa s）购于广东恒锐食品科技有限公司；纳米级别的晶体形纯硅（粒径约 50 nm）购于阿

法埃莎 (Alfa Aesar) (中国) 化学有限公司; 乙炔黑 (电池级) 购于天津天一世纪化工公司; 电解液配比: 1 mol 六氟磷酸锂 ( $\text{LiF}_6$ ) 溶解于 1 L 碳酸乙烯酯 (EC) - 碳酸二乙酯 (DEC) - 碳酸二甲酯 (DMC) (体积比 1:1:1) 的混合溶液中, 电解液 (电池级) 购于苏州多多化学科技有限公司; 电解液添加剂碳酸亚乙烯酯 (VC, 电池级) 购于苏州多多化学科技有限公司, 氟代碳酸乙烯酯 (FEC, 电池级) 购于上海德默医药科技有限公司。

## 1.2 黏结剂溶液的制备

CMC 和黄耆胶在使用前用无水乙醇进行清洗纯化, 以除去其中可能存在的少量添加剂, 充分干燥后备用。用电子天平分别称取 20 mg 的 CMC 和黄耆胶, 分别加入适量的去离子水, 充分搅拌至完全溶解, 两种黏结剂溶液制备完成。

## 1.3 电池的制备

1) 电池极片的制备。电极浆料配比为  $m(\text{纳米硅}):m(\text{乙炔黑}):m(\text{黏结剂})=6:2:2$ , 先按照比例分别称取两份 60 mg 的纳米硅和 20 mg 的乙炔黑在研钵中充分搅拌混合均匀, 然后分别加入含有 20 mg 不同黏结剂的溶液中, 搅拌均匀后, 将所制得的浆料均匀涂在提前准备好的铜箔上, 涂覆厚度约 150  $\mu\text{m}$ 。待涂覆完成后, 先将极片在空气中静置 4 h, 然后再将极片置于真空烘箱中, 在 60  $^{\circ}\text{C}$  下干燥 8 h。干燥后的极片上活性材料硅的含量约为 0.6  $\text{mg}/\text{cm}^2$ 。

2) 电池组装。将称量完的干燥极片转移至手套箱中, 组装 CR2005 型号的扣式电池。使用金属锂片 (江苏宏达锂业) 作为对电极, 采用 Celgard 2400 薄膜作隔膜, 电解液是 1 mol 的  $\text{LiF}_6$  溶于 1 L EC-DEC-DMC (体积比为 1:1:1) 的混合溶液中, 然后加入 2% (质量分数) 的 VC 和 10% (质量分数) 的 FEC 作为电解液添加剂, 用以提高电解液的性能。电池组装是在手套箱中的氩气环境下进行的, 箱中氧气和水的含量均不超过 0.001%。

最后, 扣式电池组装完毕后, 从手套箱中转移出来, 静置一段时间后, 进行电化学性能测试和表征。

## 1.4 电化学性能测试

使用 LAND CT2001A 型 (中国, 武汉市蓝电电子股份有限公司, 蓝电测试系统, 在 30  $^{\circ}\text{C}$  下, 测试组装的扣式电池的循环稳定性和倍率性能。恒流充放电测试的电流密度为 210 和 420  $\text{mA}/\text{g}$ , 倍率性能测试的电流密度从 210  $\text{mA}/\text{g}$  逐渐增大到 4 200  $\text{mA}/\text{g}$ , 电压窗口为 0.001~1.500 V (相对于  $\text{Li}/\text{Li}^+$ )。采用 CHI 660E 型 (中国, 上海辰华仪器有限公司电化学工

作站，电压范围为 0.001~1.500 V，扫描速度为 0.2 mV/s 的循环伏安（CV）曲线。

## 1.5 扫描电镜（SEM）表征测试

使用 SUPRA 55 SAPPHERE 型号的场发射电子显微镜（德国卡尔·蔡司股份公司）对扣式电池循环前后的极片材料的结构和形貌表征。在手套箱中，将组装后静置完的电池和循环 100 圈后的电池拆开，使用 DMC 对极片进行清洗，然后将极片取出后进行干燥，最后通过 SEM 对循环前后的极片结构和形貌进行表征。

## 2 结果与讨论

### 2.1 CMC 和黄蓍胶的分子结构对比分析

图 1 (a) 和(b)分别展示了 CMC 和黄蓍胶的分子结构式。CMC 和黄蓍胶的分子中都具有大量的羧基（-COOH）和羟基（-OH）等极性官能团，能够与被黏物质，如活性物质硅颗粒表面的氧化硅层形成大量的氢键，产生较强的相互作用力，有效限制硅负极材料在充放电过程中的体积变化，进而提升硅基锂离子电池的电化学性能。CMC 具有一维的线性链状结构，而黄蓍胶的分子结构具有大量支链，其可能会与活性物质硅颗粒表面的氧化硅层形成氢键等作用力，且这种结构对活性物质纳米硅材料具有较好的包裹性，能够有效缓冲硅的体积膨胀。因此，相对于 CMC，黄蓍胶有希望进一步提升硅基锂离子电池的电化学性能。

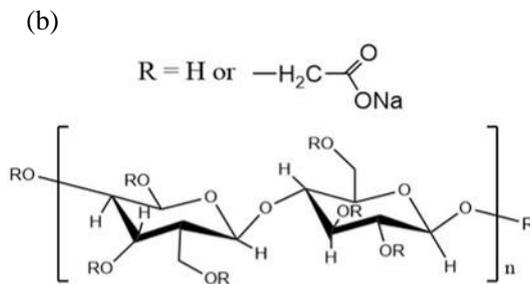
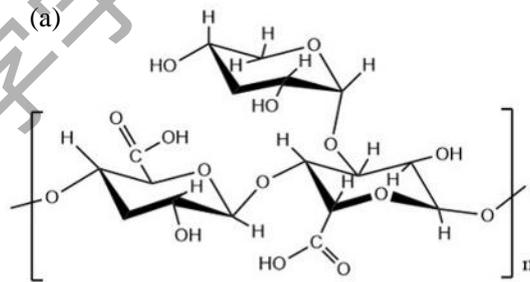


图1 (a) CMC 分子结构示意图和 (b) 黄蓍胶分子结构示意图<sup>[11]</sup>

Fig. 1 (a) Schematic diagram of the molecular structure of CMC and (b) Schematic diagram of the molecular structure of the main components in tragacanth gum

## 2.2 CMC 和黄蓍胶的电化学性能分析

### 2.2.1 充放电循环性能

如图 2 所示, 在 30 °C, 首圈在 210 mA/g 的电流密度下对电池进行活化, 此后循环的电流密度为 420 mA/g, 电压窗口为 0.001~1.200 V (相对于 Li/Li<sup>+</sup>) 的条件下, 分别对使用 CMC 和黄蓍胶作为黏结剂的硅负极锂离子电池进行恒流充放电测试。图 2 (a) 和 (b) 分别给出了采用 CMC 和黄蓍胶作为黏结剂时, 硅基锂离子电池前 5 个循环的充放电曲线, CMC/Si 和黄蓍胶/Si 电极在小于 0.1 V 均有长而平的放电平台, 对应于 Li<sup>+</sup> 嵌入 Si 中形成 Li<sub>x</sub>Si 合金。在电压窗为 0.25 ~ 0.50 V, 呈现一个倾斜的充电平台, 对应于 Li<sup>+</sup> 从 Li<sub>x</sub>Si 合金中脱出的过程<sup>[7, 13]</sup>。这一结果与图 4 中的 CV 曲线相一致。在首圈在 210 mA/g 的电流密度下, CMC/Si 和黄蓍胶/Si 电极的放电比容量分别为 2 808.7 和 3 178.7 mAh/g, 首次库伦效率分别为 68.84% 和 83.64%。可以看出采用黄蓍胶黏结剂时, 锂电池的首次放电比容量和库伦效率均明显较高。此后在 420 mA/g 的电流密度下进行充放电循环, CMC/Si 和黄蓍胶/Si 电极第二圈的放电比容量分别为 1 685.4 和 2 313.4 mAh/g, 容量损失分别为 1 123.3 和 886.3 mAh/g, 黄蓍胶/Si 电极的容量损失较小; 第五圈的放电比容量分别为 1 366.9 和 1 690.5 mAh/g。

图 2 (c) 图中黑色和红色实心圆点分别对应的是 CMC/Si 电极和黄蓍胶/Si 电极的放电比容量; 蓝色和灰色实心矩形分别代表的是 CMC 和黄蓍胶/Si 电极的库伦效率。经过 100 圈的充放电循环后, CMC/Si 电极的放电比容量仅剩 485.7 mAh/g, 而采用黄蓍胶/Si 电极的放电比容量还保持在 1 360.1 mAh/g, 是前者的 2.8 倍, 甚至经过 200 圈的长期循环后, 黄蓍胶/Si 电极的放电比容量仍有 1 056 mAh/g。此外, 黄蓍胶/Si 电极在 100 圈的循环过程中的库伦效率也较为稳定, 说明黄蓍胶的电子和离子电导性较好。因此, 使用黄蓍胶作黏结剂时, 硅负极锂离子电池的循环性能要明显优于使用 CMC 作黏结剂。

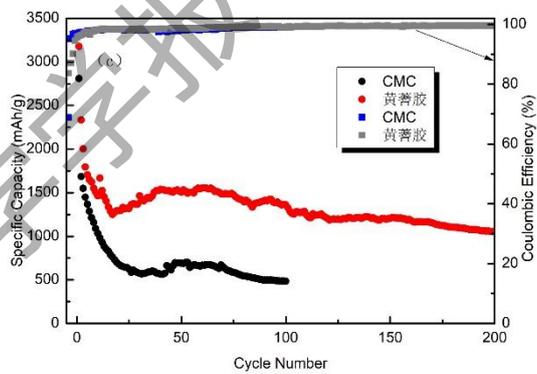
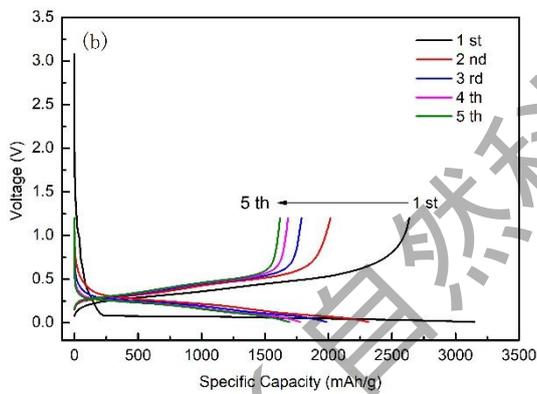
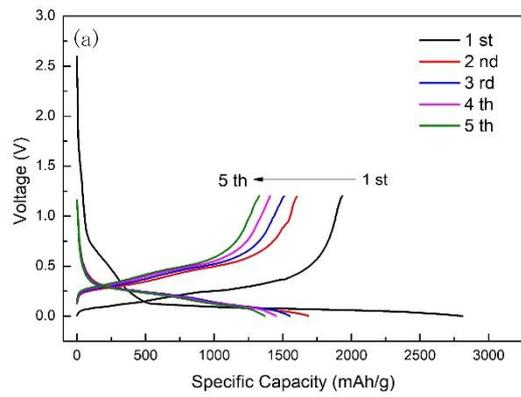


图2 CMC/Si 电极前 5 循环的充放电曲线 (a)、黄耆胶/Si 电极前 5 循环的充放电曲线 (b) 以及 CMC 和黄耆胶/Si 电极的循环性能 (c)

Fig. 2 Charge and discharge curves of the first five turns of the CMC/Si electrode (a), charge and discharge curves of the first five turns of the tragacanth gum/Si electrode (b), and cycling performance of CMC and tragacanth gum/Si electrodes (c)

### 2.2.2 倍率性能

图 3 显示了采用 CMC 和黄耆胶作为黏结剂的硅基锂离子电池的倍率性能。首圈在 210 mA/g 的电流密度下对电池进行活化,此后在不同的电流密度下各循环 5 圈,电流密度从 420,

840, 2 100 mA/g 逐渐增大至 4 200 mA/g, 最终再回到 420 mA/g 循环 5 圈, 使用 CMC (黄蓍胶) 作为黏结剂的硅基锂离子电池对应的放电比容量分别为: 1 917.4 (2 521.9), 1 114.6 (1 758.3), 691.4 (1 267.2), 303.5 (752.3), 1 167.4 (1 519.7) mAh/g。可以看出, 随着电流密度的增大, 电池的放电比容量逐渐降低, 但使用黄蓍胶作为黏结剂的锂电池的倍率性能也要明显优于使用 CMC 作黏结剂的电池。

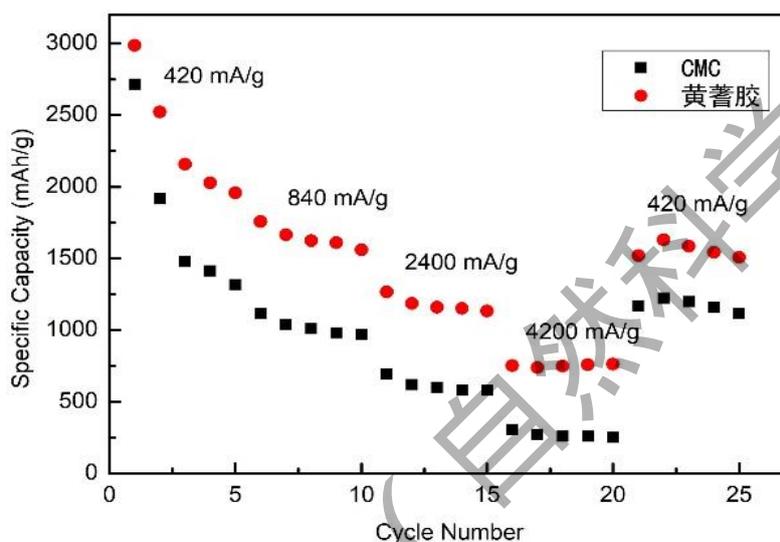


图 3 CMC/Si 和黄蓍胶/Si 的倍率性能

Fig. 3 Rate performance of CMC/Si and tragacanth gum/Si electrodes

### 2.2.3 循环伏安特性

图 4 显示了电压范围为 0.001~1.500V, 扫描速度为 0.2 mV/s, 分别使用 CMC 和黄蓍胶作黏结剂的硅基锂离子电池的最初 3 个循环过程的 CV 曲线。可以看出, 第 1 圈 CMC/Si 电极和黄蓍胶/Si 电极均在 1.7 和 1.2 V 附近产生了还原峰, 这归因于在电极活性材料纳米硅颗粒表面形成了稳定的固体电解质 (SEI) 膜, SEI 膜的产生也消耗了一定量的  $\text{Li}^+$  和活性物质 Si, 所以对应电池的首圈充电时会产生不可逆的容量损失<sup>[14]</sup>; 此外, 在 0.01 V 附近也出现一个还原峰以及产生一个较大的还原电流, 对应于  $\text{Li}^+$  嵌入晶体硅的过程,  $\text{Li}^+$  和 Si 发生合金化反应, 进而生成  $\text{Li}_x\text{Si}$  化合物。在第 1 圈的正向扫描方向, 在 0.53 V 产生了氧化峰, 这对应于  $\text{Li}^+$  从化合物  $\text{Li}_x\text{Si}$  中脱出的过程<sup>[13, 15-16]</sup>。在此后的第 2、3 圈的负向扫描过程中, 在 0.20 V 附近产生了新的还原峰, 且 0.01 V 处的峰电流强度逐渐增加, 这两个峰对应于晶体硅的嵌  $\text{Li}^+$  过程发生了相的转变; 正向扫描的过程, 氧化峰的位置没有发生明显的偏移, 氧

化峰的电强度逐渐增加，说明随着反应的进行，电极的反应活性也随之增强<sup>[17]</sup>。但是可以看出黄蓍胶/Si 电极的电强度明显较大，说明其反应活性较强，这也与其电化学性能较优异的结果相一致。

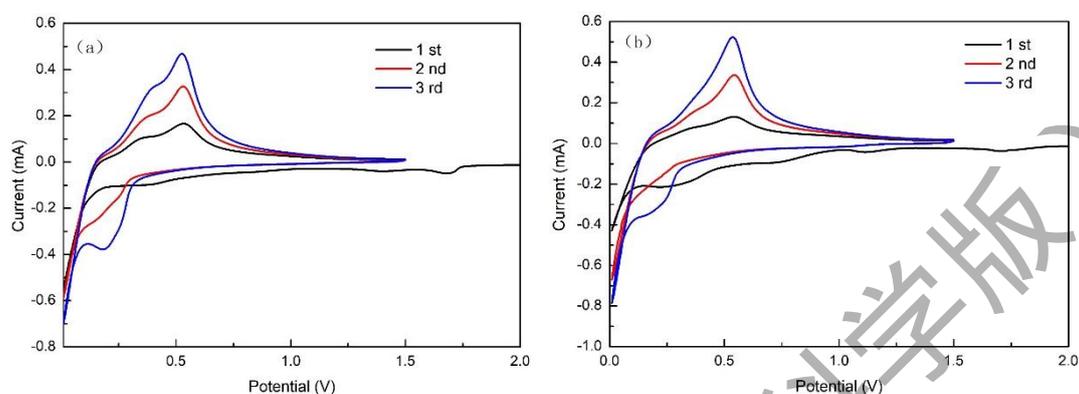


图 4 CMC/Si 电极 (a) 和黄蓍胶/Si 电极 (b) 的 CV 曲线

Fig. 4 CV curves of CMC/Si electrode (a) and tragacanth gum/Si electrode (b)

### 2.2.3 电化学阻抗测试

在频率为 0.01~10 000 Hz 的范围内，交流振幅为 5 mV 的条件下，对充放电循环 100 圈后 CMC/Si 电极和黄蓍胶/Si 电极的扣式半电池进行了 EIS 测试。如图 5 所示，CMC 和黄蓍胶/Si 电极的 EIS 谱图都是由凹陷的半圆和一条斜线组成，其中半圆对应的是 SEI 膜的界面电阻 ( $R_{EIS}$ ) 和电荷转移电阻 ( $R_{ct}$ )，而半圆的直径大小对应着  $R_{EIS}$  和  $R_{ct}$  的大小，斜线所代表的是  $Li^+$  的扩散电阻<sup>[18-19]</sup>。从图 5 可以看出，红色实心圆点的半圆直径较小，可以看出经过 100 次充放电循环后，黄蓍胶/Si 电极的  $R_{EIS}$  和  $R_{ct}$  明显要小于 CMC/Si 电极，因此黄蓍胶/Si 电极对电子和  $Li^+$  传导性较好，进而电化学性能要明显优于 CMC 黏结剂。

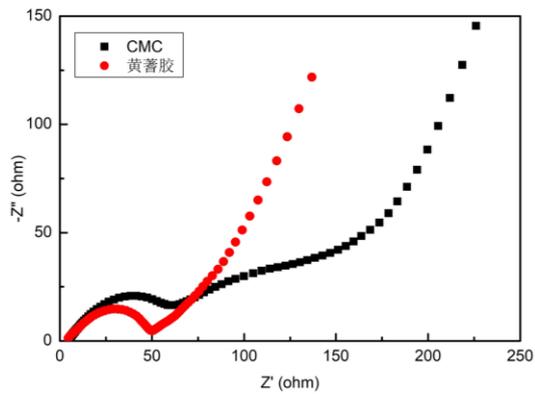


图 5 CMC/Si 电极和黄耆胶/Si 电极的电化学阻抗

Fig.5 Electrochemical impedance of CMC/Si electrode and tragacanth gum/Si electrode

### 2.3 形貌表征

为了比较两种不同的黏结剂对硅基锂离子电池循环前后电极材料结构形貌的影响,通过 SEM 对两种不同黏结剂的电极循环前以及循环 100 圈后的形貌进行表征。如图 5 所示, 电池循环前, 以 CMC 为黏结剂的极片的表面较为粗糙, 且电极材料分布较为疏松, 而以黄耆胶为黏结剂的极片表面较为平整且活性材料分布致密; 经过 100 圈的充放电循环后, 两种电极表面的裂纹均增多, 尤其是使用 CMC 作黏结剂的电池极片表面裂纹较多, 且缝隙较大。裂缝是由活性材料纳米硅在粒子反复充放电过后发生体积膨胀, 产生的应力所导致, 但是可以明显看出使用黄耆胶黏结剂的电池电极表面裂纹较少, 电极表面相对平滑, 结构相对完整, 说明使用黄耆胶黏结剂对硅基锂离子电池的电极结构具有良好的结构稳定性, 从而提升了电池的电化学循环性能。

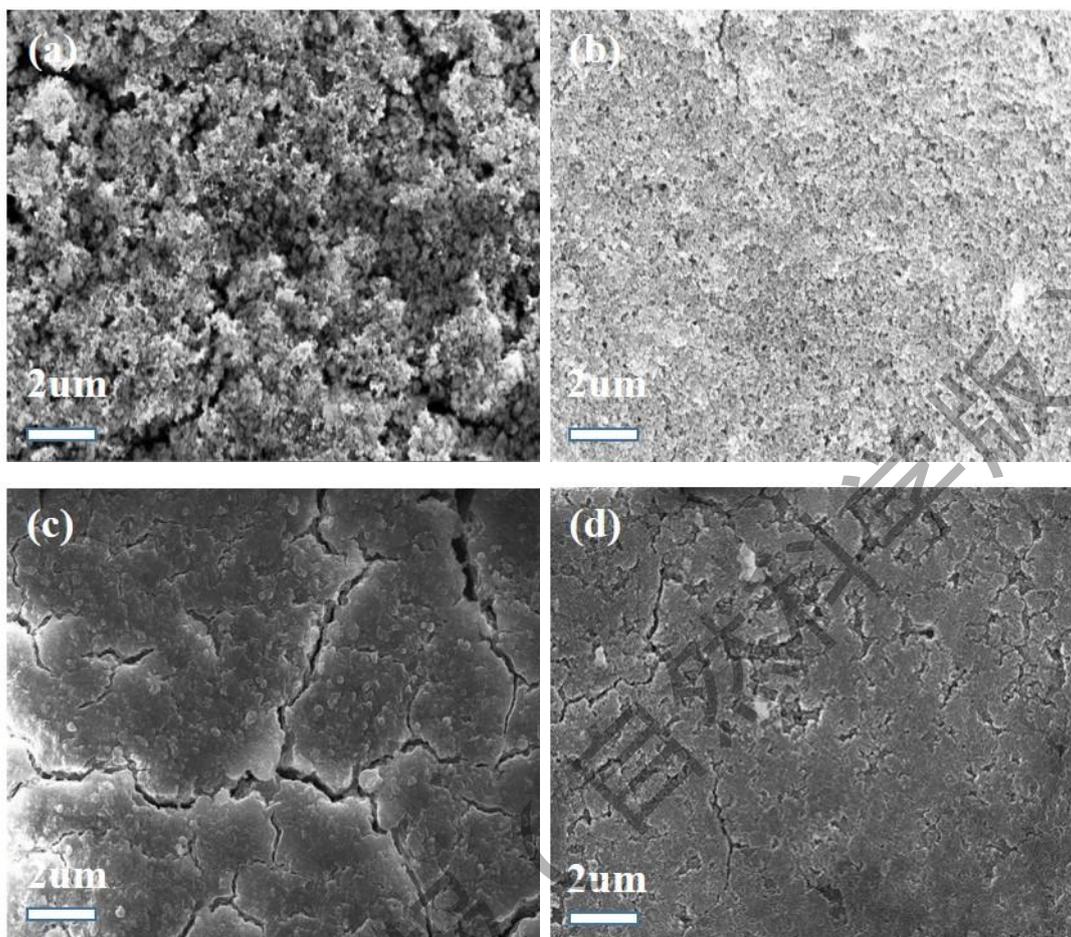


图 6 CMC/Si 电极 (a, c) 和黄蓍胶/Si 电极 (b, d) 的 SEM  
循环前 (a, b) 和循环 100 圈后 (c, d)

Fig. 6 SEM of CMC/Si electrode (a, c) and tragacanth gum/Si electrode (b, d)  
before cycle(a, b); after 100 cycles(c, d)

### 3 结 论

本研究是将水溶性聚合物黄蓍胶作为一种新型的黏结剂应用于硅基锂离子电池,且与常用的 CMC 黏结剂在循环性能、倍率性能、循环伏安特性以及电化学阻抗等方面进行了分析与比较。结果显示,黄蓍胶黏结剂在各项电化学性能方面都要优于常用的 CMC 黏结剂。通过对电极材料的形貌结构进行分析,黄蓍胶黏结剂能够使电池循环 100 圈后电极依然保持相对的完整性。实验结果也证明了采用黄蓍胶作为硅负极锂离子电池黏结剂能够极大的提升电池的性能,有希望成为一种新型且性能优异的水溶性硅负极锂离子电池黏结剂。

## 参考文献:

- [1] HAO C, MIN L, LUKE H, et al. Exploring chemical, mechanical, and electrical functionalities of binders for advanced energy-storage devices[J]. *Chemical Reviews*, 2018, 118(18): 8936–8982.
- [2] 孙亚洲, 陈丁琼, 彭月盈, 等. 海藻酸水凝胶法制各锂离子电池 Si/rGO/C 负极材料及其电化学性能[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2018, 57(4): 463–470.
- [3] LI J T, WU Z Y, LU Y Q, et al. Water soluble binder, an electrochemical performance booster for electrode materials with high energy density[J]. *Advanced Energy Materials*, 2017, 7(24): 1–30.
- [4] 王信心, 刘健, 龚正良, 等. 羧甲基纤维素-丁苯橡胶复合黏结剂在硅基锂离子电池中的应用[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2018, (4): 471–476.
- [5] 邵丹, 王媛, 唐贤文, 等. 锂离子电池用新型粘结剂研究进展[J]. *化工新型材料*, 2018, 46(11): 252–255.
- [6] LIU J, ZHANG Q, WU Z Y, et al. A high-performance alginate hydrogel binder for the Si/C anode of a Li-ion battery[J]. *Chemical Communications*, 2014, 50(48): 6386–6389.
- [7] LIU J, ZHANG Q, ZHANG T, et al. A robust ion-conductive biopolymer as a binder for Si anodes of lithium-ion batteries[J]. *Advanced Functional Materials*, 2015, 25(23): 3599–3605.
- [8] WEI L, CHEN C, HOU Z, et al. Poly (acrylic acid sodium) grafted carboxymethyl cellulose as a high performance polymer binder for silicon anode in lithium ion batteries[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 19583.
- [9] 郭容男, 韩伟强. 极性聚合物粘结剂的结构和物性对锂离子电池的影响[J]. *无机材料学报*, 2019, (10): 1021–1029.
- [10] MIN K, RAMMOHAN A R, LEE S H, et al. Grafting functional groups in polymeric binder toward enhancing structural integrity of  $\text{Li}_x\text{SiO}_2$  anode during electrochemical cycling[J]. *Journal of Physical Chemistry C*, 2018, 122(30): 17190–17198.
- [11] 龚静妮, 杨金初, 袁毅, 等. 魔芋葡甘聚糖/黄蓍胶复合水凝胶的流变特性及质构性能[J]. *高分子材料科学与工程*, 2017, 33(12): 77–83.
- [12] ZARE E N, MAKVANDI P, TAY F R. Recent progress in the industrial and biomedical applications of tragacanth gum: a review[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 212: 450–467.
- [13] YU L, LIU J, HE S, et al. A novel high-performance 3D polymer binder for silicon anode in lithium-ion batteries[J]. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2019, 135: 109113.
- [14] JIN Y, LI S, KUSHIMA A, et al. Self-healing SEI enables full-cell cycling of a silicon-majority anode with a coulombic efficiency exceeding 99.9%[J]. *Energy & Environmental Science*, 2017, 10(2): 580–592.
- [15] LUO C, DU L, WU W, et al. Novel lignin-derived water-soluble binder for micro silicon anode in lithium-ion batteries[J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2018, 6(10): 12621–12629.
- [16] GENDENSUREN B, OH E-S. Dual-crosslinked network binder of alginate with polyacrylamide for silicon/graphite anodes of lithium ion battery[J]. *Journal of Power Sources*, 2018, 384(30): 379–386.
- [17] ZHU M, YANG J, YU Z, et al. Novel hybrid Si nanocrystals embedded in a conductive  $\text{SiO}_x/\text{C}$  matrix from one single precursor as a high performance anode material for lithium-ion batteries[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, 5(15): 7026–7034.
- [18] DUFFICY M K, KHAN S A, FEDKIW P S. Galactomannan binding agents for silicon anodes in Li-ion batteries[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2015, 3(22): 12023–12030.
- [19] SHEN D, HUANG C, GAN L, et al. Rational design of Si@ $\text{SiO}_2/\text{C}$  composite using sustainable cellulose as carbon resource for anode in lithium-ion batteries[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2018, 10(9): 7946–7954.

# Application of tragacanth gum in silicon anode lithium ion battery

HE Shuaishuai, LIU Jian\*, GONG Zhengliang, GAN Lihui,

LONG Minnan

(College of Energy, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

**Abstract:** Binder used in silicon-based lithium-ion batteries, although its amount is small, is one of the important factors affecting the battery performance. This paper proposed for the first time the use of water-soluble polymer tragacanth gum as a new type of binder for silicon-based lithium ion batteries. The cycle performance and other aspects of electrochemical performance were investigated. Scanning electron microscopy (SEM) was applied to characterize the materials of the anodes before and after cycling of the lithium batteries. The experimental results showed that when CMC and tragacanth gum were used as binders, respectively, for silicon-based lithium-ion batteries at a current density of 210 mA/g, the first discharge specific capacity was 2 808.7 and 3 178.7 mAh/g, respectively, and the first coulomb efficiency were 68.84% and 83.64%, respectively. After cycling for 100 cycles at the current density of 420 mA/g the discharge specific capacity was 485.7 and 1 360.1 mAh/g, and even the battery with tragacanth gum as binder remained at 1 056 mAh/g after a long cycling of 200 cycles. It has been proved that the silicon negative electrode lithium ion battery using the tragacanth gum as a binder has an excellent cycle performance, and it is expected to become a new type of water-soluble binder for silicon negative electrode lithium ion battery.

**Keywords:** lithium-ion battery; silicon nanoparticles; tragacanth gum; aqueous binder; electrochemical performance