张泓博,党力,李武,等. 精氨酸界面调控策略提升SiO_x负极循环稳定性[J]. 盐湖研究,2026,34(2):1-8.
Zhang H B, Dang L, Li W, et al. Arginine interfacial regulation strategy for enhanced cycling stability of SiO_x anodes[J]. Journal of Salt Lake Research, 2026, 34(2): 1-8.
DOI:10.3724/j.yhyj.2026007
CSTR:32273.14.j.yhyj.2026007

精氨酸界面调控策略提升SiO_x负极循环稳定性

张泓博[1],党 力[1*],李 武[2,3,4],张 波[2,3,4]

(1. 青海大学化工学院,青海 西宁 810016; 2. 中国科学院青海盐湖研究所,盐湖资源绿色高值利用重点实验室,青海 西宁 810008; 3. 青海省盐湖资源化学重点实验室,青海 西宁 810008; 4. 中国科学院大学,北京 100049)

摘 要:研究针对硅基材料在锂离子电池中存在的体积膨胀严重和界面层不稳定等关键问题,提出了一种界面调控策略,通过不同摩尔浓度的精氨酸对SiO_x负极进行包覆,促进循环过程中富LiF无机相在SEI层的原位构筑。该策略在显著提升界面稳定性的同时,有效缓解了电极在充放电过程中的体积膨胀,从而实现电化学性能的提升。在电化学性能方面,Li‖SiO_x/精氨酸半电池在0.5 C倍率下循环100次后,容量保持率接近100%,而未改性体系容量衰减至498.3 mAh·g^{-1},循环稳定性显著提升。2 C倍率下,该电极可提供576.38 mAh·g^{-1}的高比容量。进一步的形貌分析表明,电极的体积膨胀率从95.6%降低至34.7%,材料结构稳定性有效提升。综上所述,研究为SiO_x负极材料提供了一种新的SEI构筑思路,也为高性能硅基锂离子电池的开发提供了一种简单高效的解决方案。

关键词:硅基负极;锂离子电池;界面调控;氟化锂;体积膨胀
中图分类号:TQ437;TM912 **文献标志码**:A **文章编号**:1008-858X(2026)02-0001-08

近年来,为进一步延长电动汽车的续航里程,提升锂离子电池(LIBs)的能量密度成为研究焦点。相较于传统碳基负极材料,硅亚氧化物(SiO_x,$0<x<2$)理论比容量高(2 200~2 500 mAh·g^{-1})、电压工作窗口适宜且成本低廉[1,2],被认为是高性能LIBs的理想负极材料。然而,在锂化过程中高达200%的体积膨胀会引发严重的机械应力[3],导致活性材料粉化,并反复破坏固态电解质界面(SEI)[4],电池容量快速衰减[5]。尽管通过纳米结构构筑[6,7]、黏结剂设计[8,9]以及电解液调控[10]等策略已取得显著进展,但充放电过程中剧烈的体积变化仍严重制约了其大规模应用[11]。

大量研究已明确指出,硅基材料的粉化行为与负极表面固态电解质界面层(SEI)的演变之间存在显著关联[12-14]。SEI是由负极与电解液之间的反应形成的一种多功能副产物界面层,其结构通常由致密的无机纳米晶内层和多孔的有机物外层构成[15]。该界面层在电极/电解液界面处同时充当电子绝缘体和离子导体,既可抑制电解液的持续分解,又能为锂离子可逆嵌入/脱出过程提供动态稳定性保障[16]。通过电解液设计或人工SEI构筑来优化SEI组成,已被广泛认可为有效抑制硅基材料粉化的可行策略[7,17,18]。其中,研究界普遍认为,提高SEI中无机组分(如LiF)的含量,以增强其机械稳定性,是缓解硅粉化的有效途径[19,20]。LiF由于其优异的机械强度和高度化学稳定性[21],被认为是适用于合金型负极的致密无SEI组分,可有效抑制颗粒粉化和裂纹生成[22]。此外,LiF能够减少电极/电解液界面的副反应,从而降低SEI的整体厚度[23]。因此,构建一种兼具结构稳定性与快速Li^+传输能力的SEI层,对于实现高性能SiO_x负极至关重要。近年来,基于界面化学调控构筑SEI策略备受关注,尤其以生物分子/氨基酸组成的天然聚合物作为硅基负极水系黏结剂[24-26],其多种氨基酸单元可提供丰富的氢键,从而提升电极结构完整性与循环稳定性。同时,带电微环境被证实能够改变硅基负极界面溶剂化结构,并

收稿日期:2026-01-13;**修回日期**:2026-02-03
基金项目:青海省自然科学基金项目(2024-ZJ-901)
作者简介:张泓博(2000—),男,在读硕士,研究方向:材料电化学。Email:18845581363@163.com。
通信作者:党力(1990—),男,博士,副教授,主要从事复合阻燃体系设计合成研究。Email:dangli@qhu.edu.cn。

进一步调控SEI的化学组成与空间分布,形成更薄、更均匀的SEI[27]。

基于上述认识,本工作提出一种精氨酸界面调控策略,通过不同摩尔浓度的精氨酸对SiO_x负极材料进行包覆,同时对制备的负极材料进行了电化学性能的讨论。通过SEM、Zeta电位,接触角等测试,对包覆后负极材料的形貌,表面电荷状态以及电解液浸润性进行表征分析,随后通过长循环性能、倍率性能,循环伏安以及交流阻抗等多种电化学测试方法进行了分析,结果表明通过精氨酸包覆的SiO_x负极材料展现了更好的循环稳定性。

1 实验部分

1.1 化学试剂及药品

精氨酸购自上海麦克林生化科技股份有限公司,硅氧材料购自友研科技有限公司。羧甲基纤维素以及丁苯橡胶均购自大赛璐投资有限公司,从特密高买导电炭黑。试剂均为分析纯。

1.2 实验内容

1.2.1 材料制备

采用物理混合法制备精氨酸包覆的SiO_x材料。首先分别称取1.742 g、8.71 g和17.42 g精氨酸,加入去离子水,快速搅拌直至完全溶解并定容至100 mL,得到浓度分别为0.1 mol/L^{-1}、0.5 mol/L^{-1}和1.0 mol/L^{-1}的精氨酸溶液。随后,在上述不同浓度的精氨酸溶液中分别加入2 g SiO_x粉末,在室温条件下搅拌24 h以实现充分混合。混合液经抽滤分离得到固体样品,烘干后置于真空干燥箱中干燥12 h,最终获得不同浓度精氨酸包覆的SiO_x复合材料,分别记为SiO_x/0.1 mol/L精氨酸、SiO_x/0.5 mol/L精氨酸和SiO_x/1 mol/L精氨酸。

1.2.2 电极制备

称取0.0375 g的分散剂CMC溶解于3.5 g的去离子水中,随后加入0.2 g的导电炭黑,磁力搅拌24 h后加入0.7 g制备的SiO_x/精氨酸电极材料,最后加入0.062 5 g的SBR黏结剂再进行24 h的磁力搅拌,制得浆料。将浆料均匀刮涂在铜箔上,随后将刮涂了浆料的铜箔放入鼓风烘箱中干燥2 h,随后放入真空干燥箱24 h,即成功制备电极。

1.3 表征

SEM(Hitachi SU8010)观察材料形貌。表面电荷状态采用固体表面Zeta电位仪,Zeta电位解析所使用的溶剂为无水乙醇。电极润湿性采用接触角测试进行分析。表面化学态则通过XPS(PHI-5702X)测得。循环伏安测试(CV)、交流阻抗测试(EIS)、倍率测试以及长循环测试通过组装成扣式电池(CR2032)完成。其中,测定CV时,电压范围为0.01 ~ 1.5 V,扫速设置为0.000 1 V·s^{-1},0.000 25 V·s^{-1},0.000 5 V·s^{-1},0.000 75 V·s^{-1},0.001 V·s^{-1}。测定EIS时,起始电压为电池的开路电压,频率设置为0.01 ~ 10^6 Hz。倍率测定时,设置的倍率分别为0.1 C、0.2 C、0.5 C、1 C、2 C,分别循环5圈。长循环测定时,设置电流密度为0.5 C,电压范围为0.01 ~ 1.5 V。通过SEM观察循环前后极片的表面形貌以及截面厚度的变化,分析体积膨胀对电极材料的影响。电极体积膨胀率测量:将电池在100次循环后拆解,取出极片,使用SEM测量电极厚度(T)。体积膨胀率按公式(1):

$$\text{体积膨胀率} = \frac{T_{\text{after}} - T_{\text{before}}}{T_{\text{before}}} \times 100\% \quad (1)$$

其中,T_{before}为循环前电极厚度,T_{after}为循环后电极厚度。为避免局部不均匀造成偏差,每个样品在电极截面不同位置(优先选取电极中心区域)进行测量。

2 结果与讨论

2.1 负极材料物理化学特征分析

2.1.1 SEM分析

图1(a ~ d)为原始的SiO_x材料以及在不同浓度(0.1 ~ 1 mol/L)精氨酸包覆下的SiO_x材料在20 μm下的SEM图。从电镜图中可以看出,所有样品材料均为微米级的颗粒组成,相较于原始的SiO_x材料,通过精氨酸($C_6H_{14}N_4O_2$)包覆后材料整体的分散性有所改善,团聚的减少有助于减少嵌锂过程中体积膨胀产生的颗粒间应力积聚现象。图1(e)中通过对精氨酸包覆的SiO_x颗粒进行EDS测试,图像结果表明颗粒表面N元素分布均匀,说明精氨酸已经成功包覆。

2.1.2 Zeta电位分析及接触角分析

Zeta结果如图2(a)所示。原始SiO_x材料的Zeta电位值为−14.07 mV。通过精氨酸包覆的SiO_x材料表面电荷由负转正且随着精氨酸浓度的增加,Zeta电位值逐渐升高,表明精氨酸包覆层改变了SiO_x材

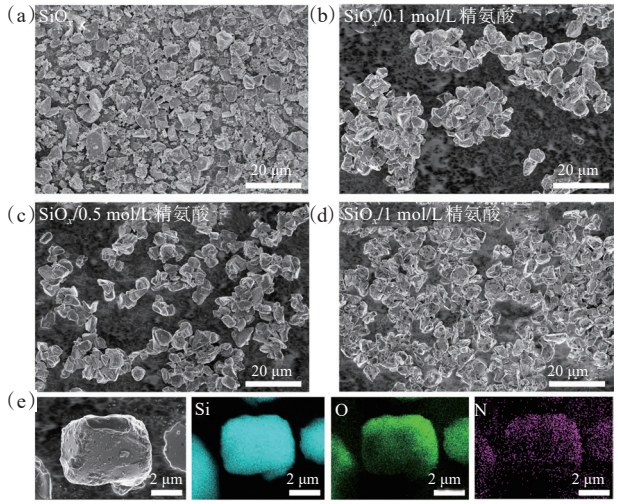

图1　不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料的SEM图

Fig. 1　SEM images of SiO_x materials coated with different concentrations of arginine

料表面电荷状态。接触角测试结果与原始SiO_x(20.8°)相比,精氨酸包覆样品的接触角明显降低,且随浓度增加呈现逐渐下降趋势。这表明精氨酸界面层的引入改善了固-液界面相互作用,从而提高了材料对电解液的润湿性[图2(b)]。

2.2　精氨酸界面调控前后负极材料电化学性能

2.2.1　长循环性能测试

图3为在0.1 C活化10次后,通过0.5 C倍率进行长循环。由长循环结果可知,精氨酸包覆后的SiO_x材料其循环稳定性均优于纯SiO_x材料,即通过精氨酸包覆策略对提升电池循环稳定性能有着明显的效果。其中,通过不同浓度精氨酸包覆的SiO_x材料在0.1 C活化时的容量呈现逐渐下降趋势。图4(a)中SiO_x电极及不同浓度精氨酸包覆的SiO_x电极的首圈充放电曲线分析结果表明,随着精氨酸浓度的增加,电极的首圈充电容量逐渐下降,说明精氨酸浓度的升高会导致界面副反应增多,从而导致不可逆锂损失的增加。图4(b)为相对应的首圈库伦效率(ICE),SiO_x电极的ICE为76.39%,而精氨酸包覆的SiO_x电极ICE分别为75.89%、75.43%和71.39%,呈现逐渐下降的趋势,这也与上述分析结果对应。我们推测原因如下:在初始嵌锂过程中,富正电荷的精

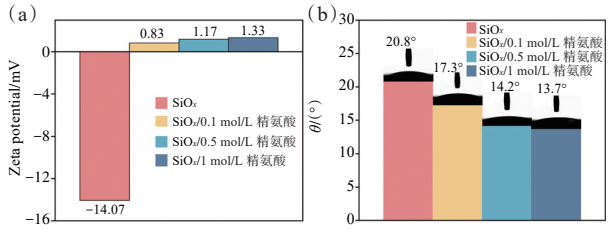

图2　不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料Zeta电位对比图以及接触角对比图

Fig. 2　Comparison of the zeta potentials and contact angles of SiO_x materials coated with different concentrations of arginine

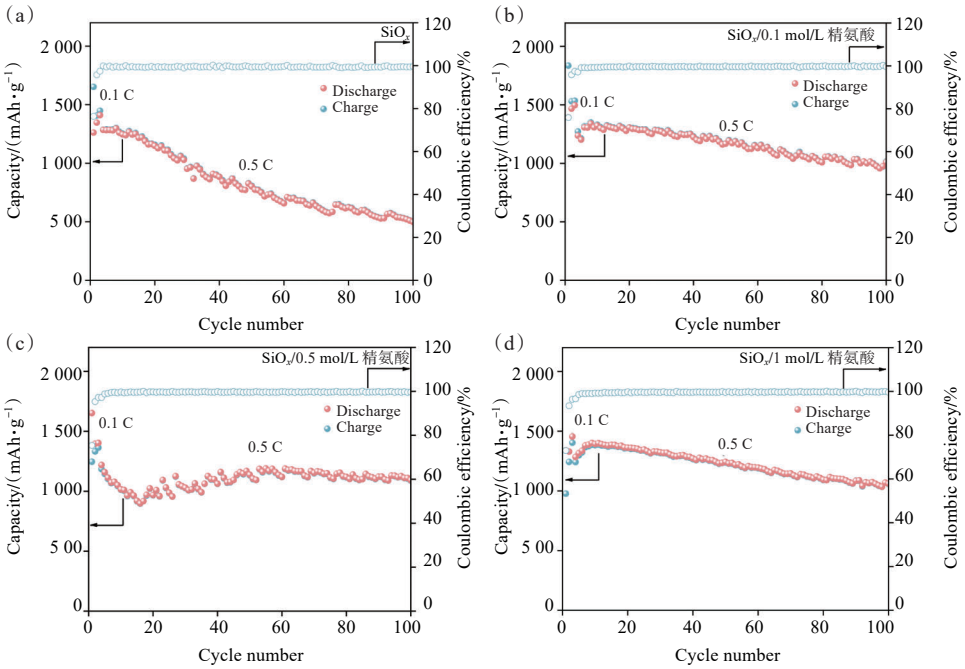

图3　不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料的长循环图

Fig. 3　Long-Term cycling performance of SiO_x materials coated with different concentrations of arginine

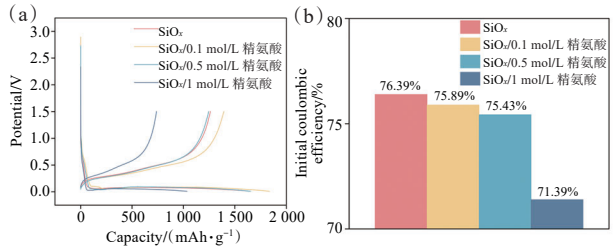

图4 不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料的首圈容量电压曲线图及初始库伦效率对比图

Fig. 4 First cycle voltage-capacity profiles and initial coulombic efficiency comparison of SiO_x electrodes coated with arginine at different concentrations

氨酸诱导电解液中的六氟磷酸根离子在固态电解质界面层(SEI)富集,促使初始活化阶段产生更多的LiF无机相,消耗较多锂离子,导致容量相对较低。随着循环过程进行,界面层形成逐渐稳定,容量逐渐上升并趋于稳定[25]。不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料的长循环性能对比中,0.5 mol/L精氨酸包覆下的SiO_x材料在保持相对较高的充电容量的同时循环稳定性也明显优于其他三种材料。

2.2.2 倍率性能测试

图5为SiO_x材料以及不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料的倍率性能测试的结果对比图。由图可知,精氨酸包覆对材料倍率性能提升较为明显,充电容量排序为SiO_x/0.5 mol/L精氨酸> SiO_x/0.1 mol/L精氨酸> SiO_x/1 mol/L精氨酸> SiO_x。综上,0.5 mol/L精氨酸包覆层倍率性能最佳。根据相关研究表明,SEI层含有适量LiF无机相有助于Li^+传输,然而过多的LiF无机相会导致界面膜层变厚阻抗增高,进而阻碍Li^+传输[28]。因此,结合上述电化学性能结果分析,0.5 mol/L精氨酸包覆层有助于形成富含LiF且厚度适宜的SEI层,从而提升了SiO_x材料的倍率性能。

2.2.3 CV测试

在普林斯顿电化学工作站上进行CV测试。CV

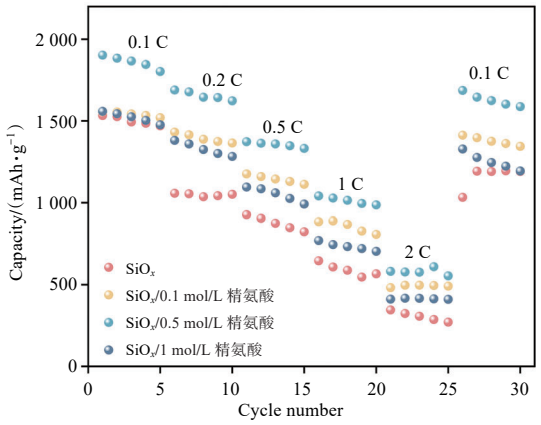

图5 不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料的倍率性能对比图

Fig. 5 Comparison of the rate performance of SiO_x materials coated with different concentrations of arginine

测试结果如图6所示,在10次循环后、0.000 1 V·s^{-1}的CV曲线中,精氨酸包覆的SiO_x材料整体峰电流提升,表明反应活性得到增强。这一结果与倍率性能结果相吻合。其中,0.5 mol/L精氨酸包覆样品在0.1~2 C范围内容量明显增加,说明其在提高反应活性的同时能有效抑制高电流下的极化现象。1 mol/L精氨酸包覆样品在CV曲线中峰电流提升最显著,但在1~2 C倍率下容量低于0.5 mol/L,结合XPS结果推测,过多的LiF会导致离子传输缓慢,进而影响电化学性能。如图7多扫速CV所示,随扫描速率从0.000 1 V·s^{-1}提高至0.001 V·s^{-1},SiO_x电极的峰形逐渐展宽并伴随更明显的峰位偏移,表明极化在高扫速下被显著放大。相比之下,SiO_x/0.5 mol/L精氨酸样品在高扫速下仍能保持更强的电流响应与更清晰的峰形特征,说明其离子传输动力学得到改善。该动力学优势与1~2 C下更优的倍率容量结果相一致,同时也有助于抑制循环过程中的极化累积,从而提升长循环稳定性。

2.2.4 EIS测试

如图8所示,对SiO_x及不同浓度精氨酸包覆

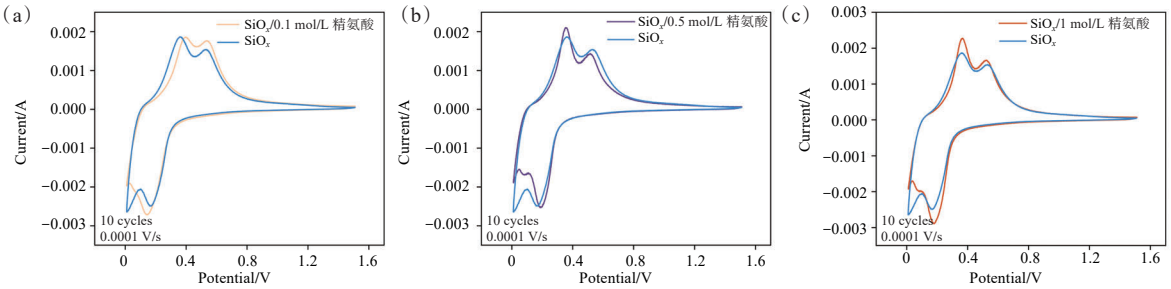

图6 SiO_x材料与0.5 mol/L精氨酸包覆下的SiO_x材料的CV曲线对比图

Fig. 6 Comparison of CV curves between pristine SiO_x and 0.5 mol/L arginine-coated SiO_x materials

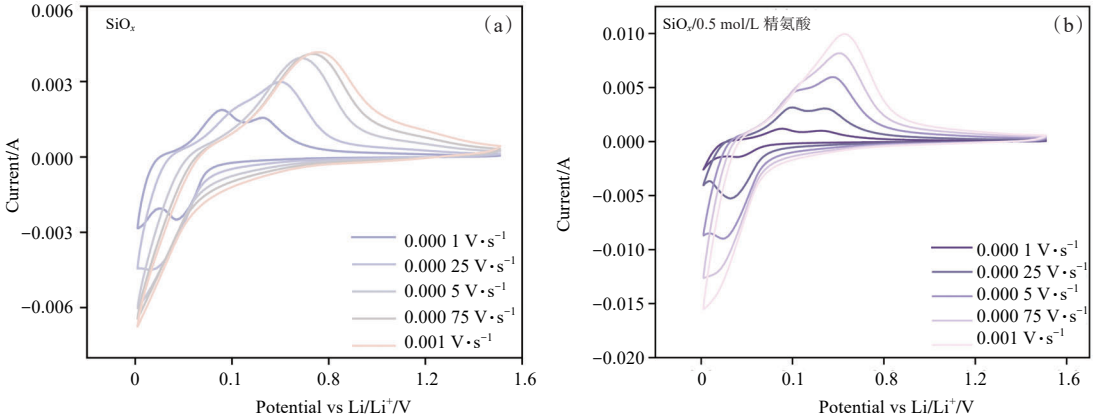

图7　SiO_x材料与0.5 mol/L精氨酸包覆下的SiO_x材料的多扫速CV曲线

Fig. 7　CV curves of pristine SiO_x and 0.5mol/L arginine-coated SiO_x at different scan rates

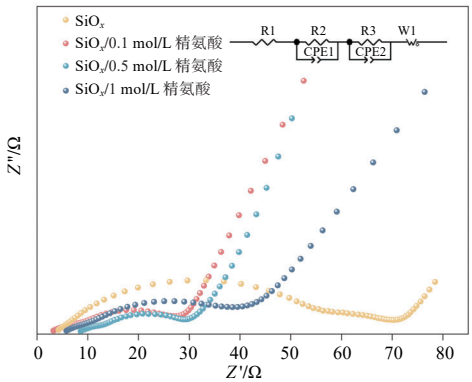

图8　SiO_x材料与不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料的EIS图

Fig. 8　EIS plots of pristine SiO_x and arginine-coated SiO_x electrodes with different arginine concentrations

SiO_x电极的电化学阻抗谱(EIS)进行了对比分析。所有样品的Nyquist曲线均由高频区的半圆和低频区的倾斜直线组成,分别对应于界面电荷转移过程和Li^+扩散行为。相比SiO_x,精氨酸包覆样品的高频半圆半径明显减小,表明精氨酸调控界面能够有效降低界面电荷转移阻抗(R_{ct}),改善电极/电解液界面动力学。其中,0.5 mol/L精氨酸包覆的SiO_x表现出最小的半圆直径和更陡峭的低频斜线,说明其不仅具有更快的电荷转移过程,同时Li^+传输阻力也得到显著降低。这一现象可归因于适量精氨酸在SiO_x表面形成均匀稳定的界面层,从而有利于离子/电子协同传输的界面环境。相比之下,当精氨酸浓度进一步提高至1 mol/L时,阻抗反而增大,说明过量无机LiF引入额外的扩散阻力,抑制界面传输过程。

2.3　机理研讨

2.3.1　XPS测试

图9为不同浓度精氨酸包覆SiO_x电极在循环10次后的F 1s XPS谱图,其中685.0 eV的特征峰可归属为LiF。为进一步比较LiF的生成量,对各样品F 1 s谱中LiF峰面积进行积分(图10)。结果表明,与未包覆的SiO_x相比,引入精氨酸界面层后LiF峰面积明显增大,且随着精氨酸浓度提高,LiF峰面积呈逐渐上升趋势,而LiF的形成主要来源于电解液中$LiPF_6$在低电位下的还原分解。因此,精氨酸包覆层确实有利于促进界面SEI中LiF无机相的形成。

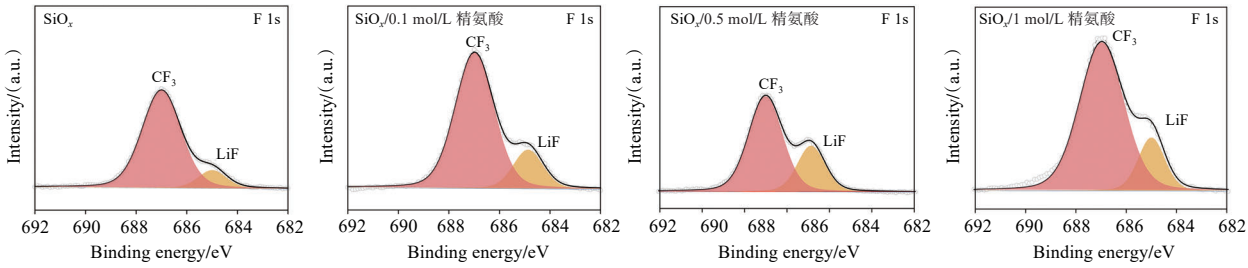

图9　不同浓度精氨酸包覆下的SiO_x材料的F 1s的XPS对比图

Fig. 9　Comparison of the F 1s XPS spectra of SiO_x materials coated with different concentrations of arginine

2.3.2　电极循环前后SEM图

由电极循环前后的扫描电镜图可知,SiO_x负极经过100次循环后,严重的体积膨胀导致电极平面出现大量裂纹,这些裂纹在循环过程中不断扩张从

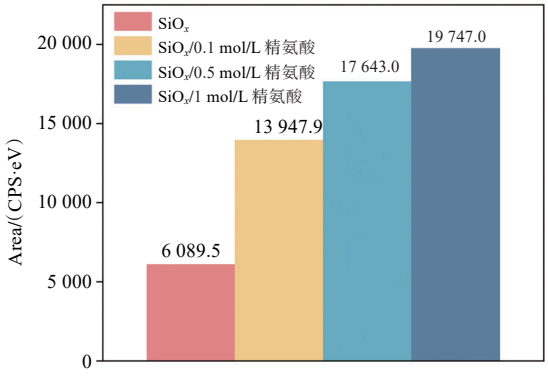

图10 F 1s XPS图中LiF峰面积对比图

Fig. 10 Comparison of the LiF peak area in the F 1s XPS spectra

而导致颗粒间电接触丧失，电池容量快速衰减。而相对有精氨酸包覆的 SiO_x 负极整体结构完好，未出现明显的龟裂现象。说明通过界面设计的富 LiF 无机界面层有助于缓解电极材料的体积膨胀效应，进而保持电极材料的力学完整性，从而实现电池的稳定循环（图 11）。SiO_x 负极经过 100 次循环后，电极截面厚度由初始的 15.9 μm 升高至 31.1 μm，体积膨胀率为 95.6%。不同浓度精氨酸包覆的 SiO_x 负极经过 100 次循环后，体积膨胀率分别为 44.5%、34.7% 和 64.9%。相对于 SiO_x 负极，体积膨胀率显著降低（图 12）。

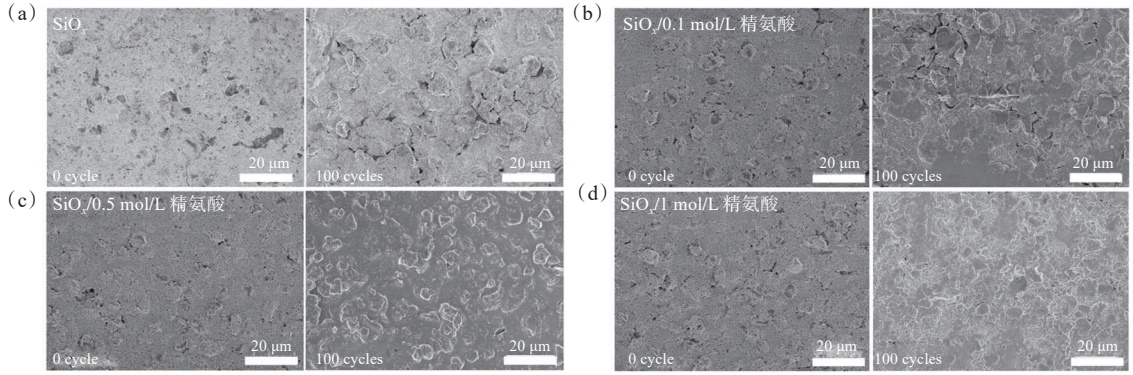

图11 SiO_x 材料与不同浓度精氨酸包覆下的 SiO_x 材料的循环前后电极平面扫描电镜图像

Fig. 11 Plan-View SEM images of SiO_x electrodes before and after cycling, comparing pristine SiO_x and SiO_x materials coated with different concentrations of arginine

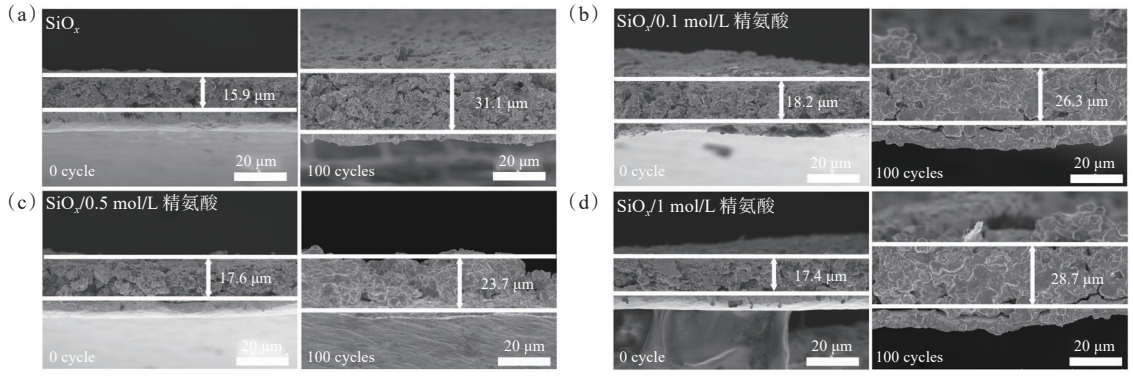

图12 SiO_x 材料与不同浓度精氨酸包覆下的 SiO_x 材料的循环前后电极截面扫描电镜图像

Fig. 12 Cross-Sectional SEM images of SiO_x electrodes before and after cycling, comparing pristine SiO_x and SiO_x materials coated with different concentrations of arginine

3 结 论

为解决 SiO_x 负极界面层稳定性不足的问题，本研究采用精氨酸包覆的界面调控策略，通过调节电极表面电荷与润湿性，构筑富含 LiF 无机相的 SEI 层，从而在提升界面稳定性的同时有效缓解 SiO_x 负极的体积膨胀。其中，0.5 mol/L 精氨酸包覆的 SiO_x 负极在 0.5 C 下循环 100 次后，容量保持率接近 100%，而未改性的 SiO_x 负极在 100 次循环后容量降低至 498.3 $mAh·g^{-1}$，电极循环稳定性得到了显著提升。在 2 C 倍率下，容量从 306.92 $mAh·g^{-1}$ 提升至 576.38 $mAh·g^{-1}$。在缓解体积膨胀方面，100 次循环后电极的体积膨胀率明显降低。

参考文献

[1] XIE G J, TAN X, SHI Z Z, *et al*. Based anodes for advanced Li-ion batteries: Recent progress and perspectives [J]. Advanced Functional materials, 2025, 35(6): 2414714.

[2] SHI K, YANG F F, XU H, *et al*. Silicon oxide anodes: Advances and challenges toward practical applications [J]. Coordination Chemistry Reviews, 2026, 550: 217394.

[3] SHI W H, YIN Z W, QIN Z B, *et al*. Plasma-Ball illing assisted core-shell Si@ SiO_x/SiO_2@ C hybrid anode enabling highly stable Li-ion storage [J]. Chemical Engineering Journal, 2026: 172610.

[4] KANG W, JE M, PARK S, *et al*. Functional solid electrolyte interphase design via trace conversion materials for enhanced full-cell stability of silicon microparticle anodes [J]. Chemical Engineering Journal, 2026, 528: 172605.

[5] GUO K, KUMAR R, XIAO X, *et al*. Failure progression in the solid electrolyte interphase (SEI) on silicon electrodes [J]. Nano Energy, 2020, 68: 104257.

[6] LI Y F, LI Q M, CHAI J L, *et al*. Si-Based anode lithium-ion batteries: A comprehensive review of recent progress [J]. ACS Materials Letters, 2023, 5(11): 2948- 2970.

[7] CHEN W Y, KUANG S J, WEI H S, *et al*. Dual carbon and void space confined SiO_x/C@ void@ Si/C yolk-shell nanospheres with high-rate performances and outstanding cyclability for lithium-ion batteries anodes [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2022, 610: 583-591.

[8] ZHAO J, JING J J, LI W Q, *et al*. Noncovalent crosslinked liquid metal-incorporated polymer binder based on multiple dynamic bonds for silicon microparticle anode [J]. Energy Storage materials, 2023: 63: 102991.

[9] ZHU T Y, STERNLICHT H, HA Y, *et al*. Formation of hierarchically ordered structures in conductive polymers to enhance the performances of lithium-ion batteries [J]. Nature Energy, 2023, 8(2): 129-37.

[10] LUO C Z, ZHANG H R, SUN C H, *et al*. A mechanically robust in-situ solidified polymer electrolyte for SiO_x-Based anodes toward high-energy lithium batteries [J]. Nano-Micro Letters, 2025, 17(1): 250.

[11] LI L W, CHEN C F, JING Q Q, *et al*. Liquid-Derived carbon encapsulated nanoporous SiO_x anode for long-cycle lithium-ion batteries [J]. Chemical Engineering Journal, 2025, 528: 172152.

[12] DING J J, GONG L L, LIN Q. Decoding the intrinsic link between interphase stripping and low initial coulombic efficiency of silicon anodes in Li-ion batteries [J]. Nano Letters, 2025, 25 (50): 17348-17356.

[13] SUN J R, CHEN G D, WANG B, *et al*. Lithium hydride in the solid electrolyte interphase of lithium-ion batteries as a pulverization accelerator of Silicon [J]. Angewandte Chemie, 2024, 136 (34): e202406198.

[14] DOPILKA A, LARSON J M, KOSTECKI R. Operando infrared nanospectroscopy of the silicon/electrolyte interface during initial stages of solid-electrolyte-interphase layer formation [J]. ACS Energy Letters, 2024, 10(1): 410-419.

[15] YANG Y Z, YANG Z, LI Z L, *et al*. Rational electrolyte design for interfacial chemistry modulation to enable long-term cycling Si anode [J]. Advanced Energy materials, 2023, 13 (41): 2302068.

[16] YANG J Q, YI C J, LI M S, *et al*. Recent advances in LATP/Polymer composite electrolytes for solid-state lithium batteries [J]. Energy & Environmental materials, 2026, 9(1): e70090.

[17] FEDOROV R G, MALETTI S, HEUBNER C, *et al*. Molecular engineering approaches to fabricate artificial solid-electrolyte interphases on anodes for Li-ion batteries: A critical review [J]. Advanced Energy Materials, 2021, 11(26): 2101173.

[18] AHAD S A, KENNEDY T, GEANEY H. Si nanowires: From model system to practical li-ion anode material and beyond [J]. ACS Energy Letters, 2024, 9(4): 1548-1561.

[19] LI A M, WANG Z Y, LEE T, *et al*. Asymmetric electrolyte design for high-energy lithium-ion batteries with micro-sized alloying anodes [J]. Nature Energy, 2024, 9(12): 1551-1560.

[20] GE K, WANG Z H, LIU J, *et al*. Constructing LiF-enriched solid electrolyte interface on graphene arrays with abundant edges on microscale Si-C anodes toward high-energy lithium-ion batteries [J]. Advanced Functional Materials, 2025, 35(5): 2414384.

[21] TOKRANOV A, KUMAR R, LI C, *et al*. Control and optimization of the electrochemical and mechanical properties of the solid electrolyte interphase on silicon electrodes in lithium ion batteries [J]. Advanced Energy Materials, 2016, 6(8): 1502302.

[22] YANG Y Z, WANG J, LI Z L, *et al*. Constructing LiF-dominated interphases with polymer interwoven outer layer enables long-term cycling of Si anodes [J]. ACS nano, 2024, 18(10): 7666-7676.

[23] DING J J, LI X S, GONG L L, *et al*. Investigating the failure mechanism of solid electrolyte interphase in silicon particles from an electrochemical-mechanical coupling perspective [J]. Advanced Powder Materials, 2024, 3(4): 100200.

[24] KIM W J, KANG J G, KIM D W. Blood clot-inspired viscoelastic fibrin gel: New aqueous binder for silicon anodes in lithium ion batteries [J]. Energy Storage Materials, 2022, 45730-45740.

[25] SUN J Y, LI Y C, LV L Z, *et al*. Selective adsorption of electrolyte anions with chitosan skin producing LiF-enriched solid electrolyte interphase for Si-Based lithium-ion batteries [J]. Advanced Functional Materials, 2024, 34(52): 2410693.

[26] LI Z, WANG L, HUANG X D, *et al*. Unveiling the mystery of LiF within solid electrolyte interphase in lithium batteries [J]. Small, 2024, 20(22): 2305429.

[27] DENG W W, ZHOU Y, HU N Q, *et al*. Recent advances of high performance SiO_x ($0< x< 2$) anodes [J]. Materials Reports: Energy, 2024, 4(2): 100270.

[28] SUN X S, LIN X Y, DONG F H, *et al*. Advanced-Design crosslinked binder enables high-performance silicon-based anodes through in-situ crosslinking based on sodium carboxymethyl cellulose and poly-lysine [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 274: 133050.

Arginine Interfacial Regulation Strategy for Enhanced Cycling Stability of SiO_x Anodes

ZHANG Hongbo[1], DANG Li[1*], LI Wu[2,3,4], ZHANG Bo[2,3,4]

(1. *College of Chemical Engineering, Qinghai University, Xining*, 810016, *China*; 2. *Key Laboratory of Green and High-end Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining*, 810008, *China*; 3. *Key Laboratory of Salt Lake Resources Chemistry of Qinghai Province, Xining*, 810008, *China*; 4. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing*, 100049, *China*)

Abstract: This study addresses two critical challenges associated with silicon-based anodes in lithium-ion batteries, severe volume expansion and interfacial instability. To propose an interfacial regulation strategy in which SiO_x anodes are coated with arginine solutions of different molar concentrations, thereby promoting the in situ formation of a LiF-rich inorganic phase within the SEI during cycling. This strategy markedly enhances interfacial stability while effectively mitigating electrode volume expansion upon lithiation/delithiation, leading to improved electrochemical performance. In Li ‖ SiO_x/arginine half-cells, the capacity retention at 0.5 C remains close to 100% after 100 cycles, whereas the unmodified SiO_x electrode decays to 498.3 mAh·g^{-1}, demonstrating substantially enhanced cycling stability. At 2 C, the arginine-coated electrode delivers a high specific capacity of 576.38 mAh·g^{-1}. Further morphological analysis reveals that the electrode swelling ratio decreases from 95.6% to 34.7%, confirming improved structural integrity. Overall, this work provides a new route for constructing a stable SEI on SiO_x anodes and offers a simple yet effective solution for developing high-performance silicon-based lithium-ion batteries.

Key words: Silicon-Based anodes; Lithium-Ion battery; Interface regulation; LiF; Volume expansion