

# 脉冲激光沉积非晶态 Ni-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 复合薄膜及其电化学性能研究\*

储艳秋, 黄峰, 秦启宗\*\*

(复旦大学化学系, 激光化学研究所, 上海 200433)

**摘要:** 首次报道了用 355 nm 脉冲激光沉积非晶态 Ni-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 复合薄膜电极的电化学性能. 采用不同摩尔比的 Ni<sub>x</sub>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 靶 ( $x = 0.1, 0.3, 0.5$ ) 在不同的基片温度 ( $T_s$ ) 和 O<sub>2</sub> 气压力下制备了 Ni-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 复合薄膜. XRD 和 SEM 测定表明, 在不锈钢基片上,  $T_s = 300^\circ\text{C}$  和氧气压力为 14 Pa 沉积 0.5 h 得到的是非晶态的 Ni-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜. 将此非晶态的 Ni<sub>0.3</sub>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜电极用于锂电池的正极, 与纯 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜相比, 不仅具有良好的放电速率性能和高的比容量, 而且其充放电循环稳定性优异. 该薄膜电极在放电速率为 20 C 时测得的比容量达 200 mAh/g, 并经 1000 次以上的充放电循环无明显衰减.

**关键词:** 脉冲激光沉积; 五氧化二钒; 复合薄膜; 非晶态; 锂电池

中图分类号: O646.54 文献标识码: A

## 1 引言

五氧化二钒具有较高的能量贮存能力, 它是最有希望应用于锂离子电池的正极材料之一. 前人曾经报道 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的比能量密度高于其他正极材料, 如 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、LiCoO<sub>2</sub> 和 LiNiO<sub>2</sub> 等<sup>[1]</sup>. 众所周知, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 不同的晶型和形貌对电化学性能有较大的影响. 除了晶型 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 之外, 非晶态和微晶材料如 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 干凝胶薄膜具有较高的比容量, 正在开发成为锂电池的正极材料<sup>[2]</sup>. 最近, Smyrl 等成功地制备了高比表面积 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 气溶胶作为电极材料<sup>[3]</sup>, 发现它具有很好的放电速率性能. 然而, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 电极在充放电循环过程中, 比容量的衰减和较差的循环稳定性限制了它在商品电池中的应用. 最近 Takeuchi 等系统评述了含银氧化钒 (silver vanadium oxides, SVO) 复合材料及其在一次和二次锂电池中的应用<sup>[4]</sup>. Coustier 等也报道了用溶胶-凝胶法制备的掺银和掺铜五氧化二钒作为可充电锂离子电池的正极材料<sup>[5]</sup>. 由于这些材料的特殊结构和电子电导的提高, 它们的比容量有所增加, 而且循环性能也有明显改善. 因此, 含银的 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 复合电极已引起人们广泛的研究兴趣.

在薄膜制备的方法中, 脉冲激光沉积法具有很多优点. 近年来该方法不仅已用于高温超导、铁电体、光电材料等多元化合物的薄膜沉积, 而且也被广泛用于锂离子电池中薄膜电极的制备. Julien 等曾用此法制备了纯 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜电极, 并测定了它的电化学性能<sup>[6]</sup>. 本实验室用脉冲激光沉积法制备了 TiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 等金属氧化物、含锡复合氧化物以及 TiO<sub>2</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 复合薄膜, 并研究了这些氧化物薄膜电极的电化学及电致变色行为<sup>[7-11]</sup>. 本工作采用此方法制备非晶态镍-五氧化二钒复合薄膜, 发现这类薄膜电极的比容量均高于纯 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 而且能在较高的放电速率 (20 C) 下循环 1000 次以上仍然保持高的比容量. 这类 Ni<sub>x</sub>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 复合薄膜电极有望在全固态薄膜锂离子电池中获得应用.

## 2 实验部分

Ni-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 复合薄膜是在氧气气氛中用 355 nm 脉冲激光照射 Ni 和 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 混合物靶制备的. Ni/V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 靶中摩尔比为 0.1、0.3、0.5. 将镍粉 (99.9%) 与五氧化二钒 (99.9%) 用一定化学计量比进行研磨混合, 然后将混合物压成直径为 1.3 cm 的靶. 纯五氧

\* 祝贺楼南泉院士从事科学研究 52 周年暨 80 华诞. 国家自然科学基金资助项目 (20083001). \*\* 通讯联系人, E-mail:

qzqin@fudan.ac.cn

收稿日期: 2002-02-20.

化二钒靶也采用同样步骤制备. PLD 的实验装置见文献 [7]. 355 nm 激光由 Nd:YAG (Spectra Physics GCR-150) 产生的基频经三倍频获得, 重复频率 10 Hz, 脉宽 10 ns, 能量密度为  $2 \text{ J/cm}^2$ . 靶和基片的距离为 3 cm, 靶在激光辐照时是自转动的, 基片经加热可保持一定的温度. 氧气氛由针阀控制引入, 气压由电容薄膜压力计测定.

$\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  复合薄膜的电化学测量采用三电极系统, 其中  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  复合薄膜为工作电极, 高纯锂片分别用作对电极和参比电极. 电解液为  $1 \text{ mol/L LiPF}_6 + \text{EC} + \text{DMC}$  ( $\text{W/W} = 1/1$ ) (Merck 产品). 电池装配在充氩气的干燥手套箱中操作. 电池充放电试验在 LAND 电池测试系统上进行. 高精度电子天平 (Sartorius) 测定薄膜重量. 台阶仪 (Tencor Alpha Step 200) 测定了薄膜的厚度. X 射线衍射仪 (Rigaku/Max-C) 测定薄膜的晶体结构. 扫描电镜 SEM (Philips XL30) 观察薄膜的形貌.

### 3 结果与讨论

已有研究工作<sup>[6]</sup>表明, 用脉冲激光沉积制备纯  $\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的形态和它的电化学性能与基片的性质、温度、环境气氛压力以及退火条件等有一定的关系. 图 1 表示在不同基片温度下制备得到的  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$

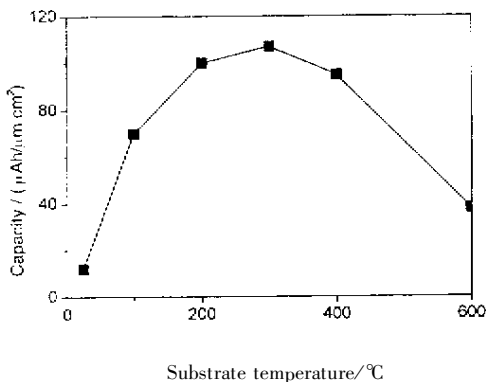


图 1  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  复合薄膜的放电容量与基片温度的关系

Fig. 1 Discharge capacity as a function of deposition temperature  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  composite film was deposited

( $x = 0.3$ ) 复合薄膜的比容量与基片温度 ( $T_s$ ) 的关系. 这里薄膜的沉积时间均为 0.5 h, 由于薄膜中  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  的重量和密度难以测定, 其比容量以体积比容量 ( $\mu\text{Ah}/(\mu\text{m}^2)$ ) 表示. 由图 1 可见, 在不同的  $T_s$  时,  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  复合薄膜具有不同的比容量, 最佳沉积的基片温度为  $300^\circ\text{C}$ , 此时所得薄膜的比容量的最大, 达到  $105 \mu\text{Ah}/(\mu\text{m}^2)$ , 而沉积时基

片温度大于  $400^\circ\text{C}$  和低于  $200^\circ\text{C}$  时, 比容量呈现急剧下降. 在不同氧气压下, 用  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  复合薄膜电极测得的第一次放电的比容量与电位的关系见图 2. 由图 2 可知, 在真空条件下,  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  复合薄膜的放电比容量很小, 这可能是由于在脉冲激光沉积过程中使薄膜缺氧所致. 氧气压在 28 Pa 时, 放电的比容量与 14 Pa 氧气压时的比容量相近. 因此, 本工作选择在  $T_s = 300^\circ\text{C}$  和 14 Pa 氧气氛下进行脉冲激光沉积复合薄膜电极.

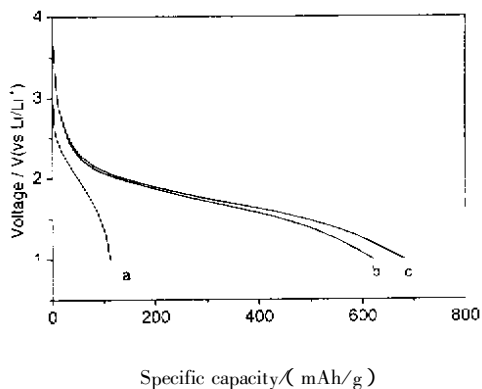


图 2  $T_s = 300^\circ\text{C}$  时不同  $\text{O}_2$  气压力下沉积  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的第一次放电曲线  
a. 真空, b. 28 Pa, c. 14 Pa

Fig. 2 The initial discharge curves of the  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  films deposited at different pressure of oxygen  
a. Vacuum, b. 28 Pa, c. 14 Pa

我们分别测定了未经激光辐照的  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  混合靶, 以及在不锈钢基片和镀金硅片上分别经脉冲激光沉积得到的  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的 X 射线衍射图谱 (XRD). 由图 3a 可以看出,  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  靶呈现典型的  $\text{V}_2\text{O}_5$  正交晶形结构, 它们峰的位置分别相应于 (200), (001), (101), (110) 和 (400) 晶面的衍射. 镍的掺入对它的 XRD 谱影响很小, 但可见金属镍的 (111) 和 (200) 衍射峰. 值得注意的是, 基片的性质对脉冲激光沉积制得的  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的晶型有较大的影响. 由图 3b 可见, 经脉冲激光沉积 0.5 h, 在不锈钢基片上得到的  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的 XRD 谱中, 除基片衍射峰外, 没有出现  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的衍射峰, 这表明  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜属于非晶态结构. 但由图 3c 可见, 在镀金硅片上同样沉积 0.5 h, 出现  $\text{V}_2\text{O}_5$  (001) 的衍射峰, 表明该薄膜呈现多晶结构.

图 4 是在不同基片温度下和不同基片上沉积得到的  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的扫描电镜照片. 可以看出, 在  $T_s$  为室温时, 在不锈钢基片上沉积 0.5 h 得到的  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜没有出现任何明显的晶粒, 见图 4

(a).随着基片温度的提高,300℃下在不锈钢基片上沉积 0.5 h 得到的  $Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜观察到稀疏的 100200 nm 的球形颗粒,而薄膜表面仍呈现非晶态的特征,见图 4(b)。但是在  $T_s = 300^\circ C$  时,于镀金硅片上沉积 0.5 h 得到的  $Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜,由图 4(c)可见,表面上充满大约为 200300 nm 的晶粒,说明  $Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜由多晶的颗粒组成。图 4(d)为多晶

$Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜的剖面图,可见其表层厚度比较均匀,薄膜的厚度为 250 nm 左右。此结果与上述 XRD 的结果相一致,并进一步证实了在  $T_s = 300^\circ C$  时同样沉积 0.5 h,不同的基片产生不同形貌的  $Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜,在不锈钢片上容易得到非晶态的薄膜,而在硅片上得到的是多晶态的。

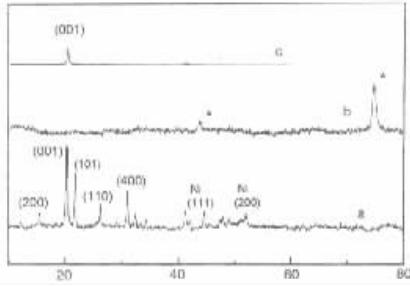


图 3  $Ni_{0.3}V_2O_5$  复合薄膜的 X 射线衍射图谱

a.  $Ni_{0.3}V_2O_5$  靶材料, b.  $T_s = 300^\circ C$  时沉积在不锈钢基片上, c.  $T_s = 300^\circ C$  沉积在镀金硅片上。

Fig.3 XRD patterns for (a)  $Ni_{0.3}V_2O_5$  target

(b)  $Ni_{0.3}V_2O_5$  film deposited on the stainless steel substrate at  $T_s = 300^\circ C$  for 0.5 h ;

(c)  $Ni_{0.3}V_2O_5$  film deposited on Au-coated Si substrate at  $T_s = 300^\circ C$  for 0.5 h.

The peaks marked with an asterisk correspond to stainless steel substrate.

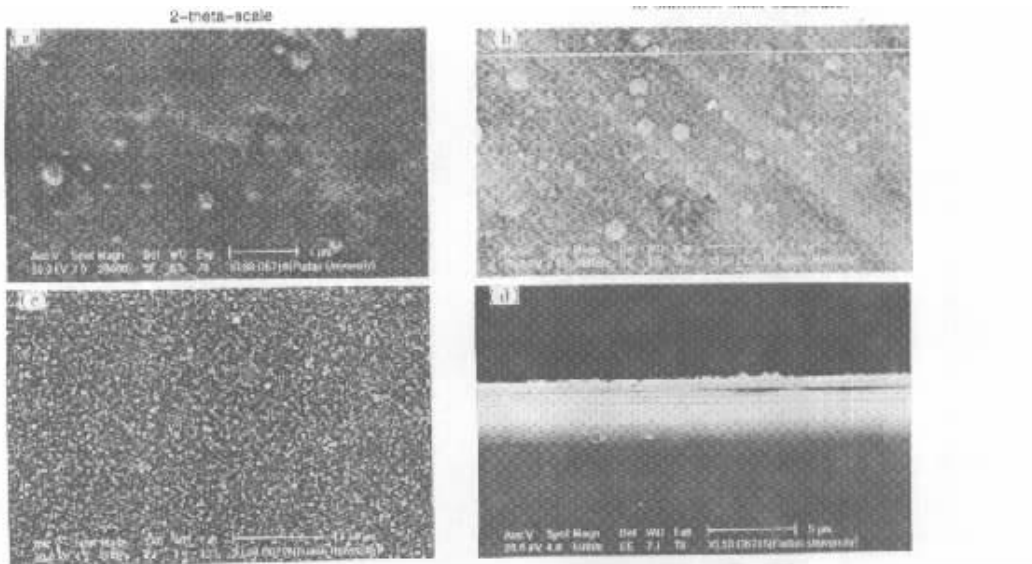


图 4 在不同基片和温度时制备  $Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜的扫描电镜照片(SEM) 沉积 0.5 h

(a)  $T_s = 20^\circ C$  不锈钢基片 (b)  $T_s = 300^\circ C$  不锈钢基片 (c)  $T_s = 300^\circ C$  镀金硅片 (d) 在(c)条件下制得的薄膜的剖面图

Fig.4 SEM images of film electrodes :(a)  $Ni_{0.3}V_2O_5$  film deposited on stainless steel substrate at room temperature ,

(b)  $Ni_{0.3}V_2O_5$  film deposited on stainless steel substrate at  $T_s = 300^\circ C$  for 0.5 h ,(c)  $Ni_{0.3}V_2O_5$  film

deposited on Au-coated Si substrate at  $T_s = 300^\circ C$  for 0.5 h. (d) Cross-sectional view of the film (c).

根据上述 XRD 和 SEM 的分析,考虑到非晶态  $Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜具有更好的电化学性能,以下将对非晶态  $Ni-V_2O_5$  复合薄膜作进一步研究。我们采用在  $T_s = 300^\circ C$  沉积得到的非晶态  $Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜作为锂电池的阴极,在电压为 1.04.0 V,放电速率为 2 C 时测量其充放电曲线(这里放电速率 1 C 规定为 1 h 内每摩尔  $V_2O_5$  分子嵌入 1 mol 锂,相当于电流密度为 141 mA/g 或者  $5 \mu A/cm^2$ )。图 5 为该薄膜电极

的最初 10 次充放电曲线。可以看出,它的第一次放电曲线呈现单调的下降,没有出现放电平台,为典型的非晶态结构电极的电化学行为,这也进一步证实了 XRD 的结果,并与 Kumagai 等报道的非晶态  $V_2O_5$  薄膜在锂嵌入的第一次放电曲线呈单调下降的趋势相一致<sup>[12]</sup>。由图 5 还可见,在第一次不可逆放电以后,其循环可逆性一直保持良好。非晶态  $Ni_{0.3}V_2O_5$  薄膜第一次的不可逆放电容量为 678

mAh/g, 第二次放电容量为 376 mAh/g, 经 300 次充放电循环以后, 放电容量为 365 mAh/g, 容量损失低于 5%, 电流效率(放电容量/充电容量)大约为 96%.

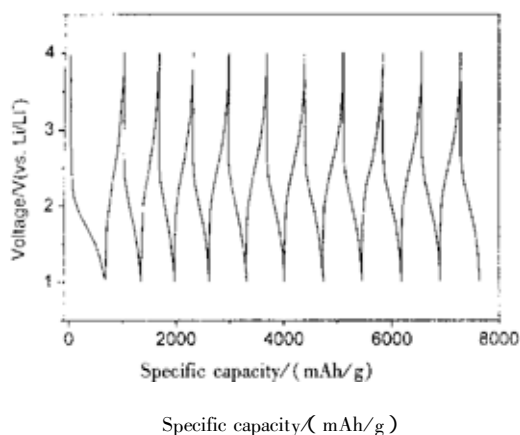


图 5 非晶态  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜电极的前 10 次充放电曲线  
截止电压: 1.04.0 V, 对电极和参比电极: 锂片,  
电解质: 1 mol/L  $\text{LiPF}_6$

Fig.5 The first ten charge-discharge curves of  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  film electrode deposited on stainless steel substrate at  $T_s = 300^\circ\text{C}$ , the cell was cycled at a rate of 2 C

表 1 列出了  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  不同摩尔比  $x$  的复合薄膜以及纯  $\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜电极的比容量. 可以看出  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  复合薄膜的比容量与其中  $\text{Ni/V}_2\text{O}_5$  摩尔比有关, 其中  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  ( $x = 0.3$ ) 薄膜电极在 2 C 放电速率下容量高达 365 mAh/g, 明显地大于纯  $\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜电极 (320 mAh/g), 而且, 该薄膜电极的嵌锂量也较大, 达到 2.60 mol 锂.  $\text{Ni}_x\text{V}_2\text{O}_5$  ( $x = 0.1, 0.3, 0.5$ ) 薄膜电极在不同放电速率时的比容量见图 6. 可以看出在 4.01.0 V 时, 这些电极的比容量随着放电速率的增加而出现不同程度的下降. 但是, 对于  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  复合薄膜电极, 在高的放电速率(例如 16 C, 20 C)下, 虽然  $\text{Ni}_{0.1}\text{V}_2\text{O}_5$  和  $\text{Ni}_{0.5}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的比容量呈现较大幅度的下降, 而  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜的比容量却下降较少. 由此可见,  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  ( $x = 0.3$ ) 薄膜电极具有最佳的放电速率性能, 而且远远超过了纯  $\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜电极.

为了考察  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  复合薄膜电极的充放电循环的稳定性, 曾在高的充放电速率(20 C)下, 测定了它们的比容量与循环次数的关系. 由图 7 可以看出, 对  $\text{Ni}_x\text{V}_2\text{O}_5$  ( $x = 0.1, 0.3, 0.5$ ) 薄膜电极在 100 次循环过程中, 它们的比容量都有所下降, 而经此后近 1000 次的充放电循环仍能保持良好的可逆性, 其比

表 1 在 2 C 速率, 电压为 4.01.0 V 下测得的非晶态  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  复合薄膜和纯  $\text{V}_2\text{O}_5$  电极的比容量

Table 1 The special capacity of amorphous  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  composite films and pure  $\text{V}_2\text{O}_5$  film electrodes at a rate of 2 C, 1.04.0 V

Film electrode	Li/ $\text{V}_2\text{O}_5$	Specific capacity/(mAh/g)
$\text{V}_2\text{O}_5$	2.28	320
$\text{Ni}_{0.1}\text{V}_2\text{O}_5$	2.47	346
$\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$	2.60	365
$\text{Ni}_{0.5}\text{V}_2\text{O}_5$	2.48	348

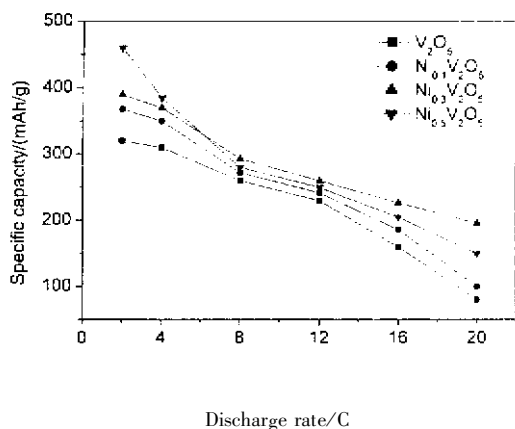


图 6  $\text{V}_2\text{O}_5$  和  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  复合薄膜的比容量与放电速率的关系(图中比容量均为平均值)

Fig.6 Specific capacity vs. discharge rate for  $\text{V}_2\text{O}_5$  and  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  composite film cathodes (Data shown in the plot are averaged over several)

容量没有明显的衰减. 其中仍以  $\text{Ni}_{0.3}\text{V}_2\text{O}_5$  薄膜电极的电化学循环性能最好, 不仅其比容量最大, 而且经 1000 次循环后仍保持在 200 mAh/g 以上. 此外,

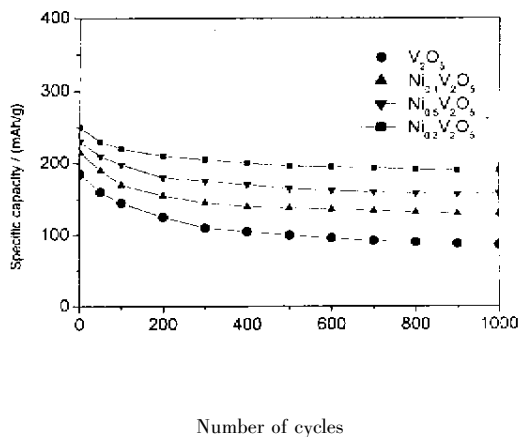


图 7 在 20C 放电速率下的  $\text{V}_2\text{O}_5$  和  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  复合薄膜的比容量与循环次数的关系

Fig.7 Cycling performance at a rate of 20C for  $\text{V}_2\text{O}_5$  and  $\text{Ni-V}_2\text{O}_5$  composite film cathodes.

与纯  $V_2O_5$  薄膜相比,非晶态  $Ni-V_2O_5$  薄膜电极的比容量和速率性能都有明显的改善,这种改善可能与在脉冲激光沉积过程中生成了非晶态的复合薄膜,以及纳米尺寸的金属镍或氧化镍粒子嵌入  $V_2O_5$  骨架有关,但非晶态复合薄膜的电化学反应的机理十分复杂,尚待进一步研究。

#### 4 结 论

目前,限制  $V_2O_5$  电极应用于锂电池的主要问题是它的循环稳定性较差.本工作采用脉冲激光沉积法制备  $V_2O_5$  与金属镍组成的复合薄膜电极是一个成功的方法.该复合薄膜电极不仅有效地改善了  $V_2O_5$  类型电极材料的充放电循环性能,而且提高了它的比容量和放电速率.其中以非晶态  $Ni_{0.3}V_2O_5$  ( $x = 0.3$ ) 薄膜的性能最佳.这类非晶态  $Ni-V_2O_5$  薄膜电极具有上述优良的电化学性能,将有可能应用于全固态薄膜锂离子电池。

#### 参 考 文 献

[1] Broussely M, Biensan P, Simon B. *Electrochimica Acta*, 1999, **45**: 3

[2] Tipon A L, Passerini S, Owens B B, Smyrl W H. *J. Electrochem. Soc.*, 1996, **143**: 3473

[3] Passerini s, Ressler D B, Owens B B, Smyrl W H. *Electrochimica. Acta*, 1999, **44**: 2209

[4] Takeuchi J K, Marschilok A C, Davis S M, Leising R A, Takeuchi E S. *Coordination Chem. Rev.*, 2001, **219-221**: 283

[5] Coustier F, Hill J, Owens B. B, Passerini S, Smyrl W H. *J. Electrochem. Soc.*, 1999, **146**: 1355

[6] Julien C, Haro-Poniatowski E, Camacho-Lopez M A, Escobar-Alarcon L, Jimenez-Jarquín. *J. Mater. Sci. Eng.*, 1999, **B65**: 170

[7] Fu Z W, Kong J J, Qin Q Z. *J. Electrochem. Soc.*, 1999, **146**: 3914

[8] Fu Z W, Qin Q Z. *J. Electrochem. Soc.*, 2000, **147**: 4610

[9] Fu Z W, Qin Q Z. *J. Phys. Chem. B*, 2000, **104**: 5505

[10] Fu Z W, Qin Q Z. *J. Electrochem. Soc.*, 2000, **147**: 2371

[11] Ding F, Fu Z W, Qin Q Z. *J. Electrochem. Soc.*, 1999, **146**: 3554

[12] Kumagai N, Kitamoto H, Baba M. *J. Appl. Electrochem.*, 1998, **28**: 41

## A Study of Pulsed Laser Deposited Amorphous Nickel- $V_2O_5$ Composite Film and its Electrochemical Properties<sup>\*</sup>

Chu Yanqiu, Huang Feng, Qin Qizong<sup>\*\*</sup>

(Chemistry Department, Laser Chemistry Institute, Fudan University, Shanghai 200433)

**Abstract** Amorphous  $Ni-V_2O_5$  composite film cathodes with excellent electrochemical properties were successfully prepared by 355 nm pulsed laser reactive deposition for the first time. The optimum experimental conditions for the film deposition are: a laser fluency of  $2 \text{ J/cm}^2$ , a temperature of substrate at  $300^\circ\text{C}$ , oxygen gas pressure 14 Pa, deposition duration 0.5 h and stainless steel used as a substrate material. X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) analyses indicated that the  $Ni-V_2O_5$  composite films deposited on stainless steel substrate are amorphous. Among the three composite films with different  $Ni-V_2O_5$  molar ratio ( $x = 0.1, 0.3, 0.5$ ),  $Ni_{0.3}V_2O_5$  ( $x = 0.3$ ) composite film electrode exhibited best electrochemical performance. This film electrode retained a capacity of 200 mAh/g at a high rate of 20 C with excellent reversibility, upon cycling with no obvious fading over more than 1000 cycles. The improved specific capacity, rate capability and cycleability of amorphous  $Ni-V_2O_5$  film electrodes demonstrate that these film electrodes could be used as a promising cathode material for all-solid-state thin film lithium ion rechargeable batteries.

**Key words** Pulse laser deposition,  $Ni-V_2O_5$  composite films, Amorphous, Lithium battery

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (20083001).

\*\* To whom correspondence should be addressed, E-mail: qzqin@fudan.ac.cn