



铌酸钠粉末压电催化降解罗丹明 B 性能

薛国梁, 孙奇薇, 周学凡, 罗 行, 张 斗

(中南大学 粉末冶金国家重点实验室, 长沙 410083)

摘 要: 采用固相法制备 NaNbO_3 微米粉末, 研究其压电催化特性。采用 XRD 检测 NaNbO_3 微米粉末的相结构; 利用 PFM 分析 NaNbO_3 粉末的压电响应; 使用超声的方式施加应力, 测试 NaNbO_3 粉末降解染料罗丹明 B 的压电催化能力。结果表明: NaNbO_3 微米粉末的空间群结构为 $P2_1ma$, 属于铁电相, 具有多畴结构和明显的极化反转行为; 在 200 W 超声功率和 40 kHz 的超声频率下, 随着时间的延长, 罗丹明 B 溶液浓度逐渐降低, 在 120 min 时降解度高达 94.8%。

关键词: 压电催化; 压电陶瓷; NaNbO_3 微米粉末; 罗丹明 B

文章编号: 1004-0609(2021)-08-2051-08

中图分类号: TB34

文献标志码: A

引文格式: 薛国梁, 孙奇薇, 周学凡, 等. 铌酸钠粉末压电催化降解罗丹明 B 性能[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(8): 2051–2058. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-41032

XUE Guo-liang, SUN Qi-wei, ZHOU Xue-fan, et al. Performance of piezoelectric catalysis of sodium niobate powder in degradation of Rhodamine B[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(8): 2051–2058. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-41032

压电材料在发生机械形变时会在加压面或拉力面的两侧产生异号束缚电荷, 形成电场, 这种机械能到电能的转变使压电材料广泛应用于换能器、传感器和能量采集器件^[1–2]。绝大多数压电器件基于压电单晶、陶瓷或薄膜, 近年来压电纳米材料的开发与应用也越来越受到重视, 如压电纳米发电机和压电催化等^[3–4]。压电催化^[5–9]是指压电效应产生的电荷参与到氧化还原反应中去, 通常利用机械能驱动催化反应, 主要研究方向包括压电催化分解 H_2O 制 H_2 和降解有机污染物, 并逐渐拓展到电化学聚合和原子转移反应等领域。

常见的处理工业废水中有机污染物的方法有物理法、化学法和生物法^[10]。物理法如重力分离和活性炭吸附, 只是简单的将污染物从废水溶液中转移出来, 容易造成二次污染^[11–12]。化学法是通过加入强氧化剂处理有机污染物, 也容易造成二次污

染。对于大毒性的废水溶液, 生物法不能起到很好的降解作用^[13–15]。光催化是一种比较高效的有机废水处理方式^[16–17], 但是光催化的过程易受到溶液透射率的影响。当废液颜色较深时, 光线不能顺利的透过溶液, 催化效果会大幅降低^[18–19]。2012 年, HONG 等^[4]首次提出压电催化的概念, 采用水热法制备了尺寸为 10 μm 左右的树枝状 BaTiO_3 晶体, 采用超声振动的方式在其表面形成电荷, 来降解 AO7(酸性橙, 一种红色染料)溶液, 并且取得了良好的结果。从此, 压电催化受到了极大的关注。压电催化效应研究的材料主要是压电材料如 BaTiO_3 、 $\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3$ 、 $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$ 和 ZnO 等。压电异质结构以及多种催化效应协同可以有效促进载流子分离, 提升催化降解效率, 如 $\text{BaTiO}_3/\text{TiO}_2$ 和 $\text{BaTiO}_3/\text{Ag}_2\text{O}$ 异质结构。总的来说, 压电微纳材料的种类、形貌、尺寸、比表面积和结晶性等因素显

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U19A2087, 52002404); 湖南创新型省份建设专项(2020GK2062)

收稿日期: 2021-01-29; **修订日期:** 2021-06-30

通信作者: 罗 行, 副教授, 博士; 电话: 0731-88877196; E-mail: hangluo@csu.edu.cn

张 斗, 教授, 博士; 电话: 0731-88877196; E-mail: dzhang@csu.edu.cn

著影响其压电催化性能。

NaNbO_3 作为具有压电性的钙钛矿晶体^[20-21], 具有良好的化学稳定性, 是压电催化的合适材料^[22]。目前, 关于 NaNbO_3 纳米线的压电催化效果得到验证, WANG 等^[8]采用水热法制备了 NaNbO_3 纳米线, 在 5 mg/L 的罗丹明 B 溶液中, 其降解率达到 80%。考虑到水热法制备的 NaNbO_3 纳米线结晶度不高, 不能完全发挥其压电催化效果。本工作采用固相法制备结晶性良好的 NaNbO_3 微米粉末, 并通过降解罗丹明 B (Rhodamine B) 验证其压电催化性能, 采用 XRD、SEM 等一系列手段进行表征。实验显示其压电催化效果显著, 且制备工艺简单, 具有很高的工程应用价值。

1 实验

1.1 NaNbO_3 微米粉末的制备

采用固相反应合成法制备 NaNbO_3 陶瓷微米粉末。将 Nb_2O_5 (国药集团、纯度 99.99%) 和 Na_2CO_3 (国药集团、纯度 99.8%) 按照化学计量比进行配料, 将配好的粉末和球磨介质 ZrO_2 球一起放入尼龙罐中进行球磨, 料、球、酒精的体积比大约为 1:1:2。采用行星式球磨机在 250 r/min 下球磨 24 h, 将球磨后的浆料放在烘箱中进行烘干, 得到干燥的混合粉末。将混合粉末放在氧化铝坩埚中, 在 800 °C 下保温 2 h 进行焙烧。焙烧后的粉末在 250 r/min 下球磨 8 h 进行二次破碎。二次球磨后的陶瓷粉烘干后, 进行造粒、压片, 加入 1% 的聚乙烯醇作为黏结剂便于压片。将陶瓷粉末压制成直径 10 mm, 厚度约为 1 mm 的陶瓷胚体, 并在 1250 °C 下保温 2 h 得到致密的陶瓷片。陶瓷片在玛瑙研钵中进行手动研磨得到最终的 NaNbO_3 微米粉末。二次烧结可以保证成分的稳定性, 并且陶瓷晶粒可以充分长大。

1.2 NaNbO_3 微米粉末压电催化性能检测

由于直接施加外力来使微米颗粒发生应变比较困难, 并且难以控制, 本研究中采用超声的方式施加压力。在超声的过程中会产生超声空化的现象, 伴随着气泡破裂, 气泡破裂产生的应力可以使 NaNbO_3 微米粉末发生应变, 从而通过逆压电效应

产生电荷参与催化反应^[4-5]。压电催化的具体实验步骤为: 将 100 mg 的 NaNbO_3 微米粉末放入约 100 mL 的罗丹明 B 溶液中(浓度为 5 mg/L), 得到悬浮液, 在测试前将悬浮液在黑暗中搅拌 30 min 以建立吸附-解吸平衡。达吸附降解平衡后进行超声降解实验, 超声的频率为 40 kHz, 超声功率为 200 W, 每隔 10 min 吸取 10 mL 的悬浮液, 离心去除其中的 NaNbO_3 粉末得到透明溶液。采用紫外可见分光光度计(Hitachi U-5100)测量超声不同时间后罗丹明 B 溶液在 $\lambda_{\text{max}}=554$ nm 处的吸收度, 以计算罗丹明溶液随超声时间的浓度变化。

1.3 NaNbO_3 微米粉末结构和形貌表征

采用 X 射线衍射仪 (D8 Advance, Bruker, 德国)测试 NaNbO_3 微米粉末的 XRD 谱, 并进行晶体结构的标定。样品的微观形貌使用场发射扫描电子显微镜(FESEM, NovaNanoSEM230, 美国)检测样品的微观形貌, 并进行能谱扫描。通过扫描探针显微镜(NanoManVS+Multimode, Veeco, 美国)对粉末进行测试, 并且通过扫描探针显微镜下的压电力模式(Piezoelectric force microscopy, PFM)对样品进行微观压电性能测试。

2 结果与讨论

2.1 NaNbO_3 微米粉末的微观形貌

NaNbO_3 粉末的微观形貌通过 SEM 进行分析, 结果如图 1(a)所示。从图中可以清楚地看到 NaNbO_3 粉末呈球形, 并且大小均匀, 没有明显团聚。通过 Nano Measurer 软件对粉末的粒径进行分析, 使用线截距计算晶粒尺寸, 共采取样品点数 150 个, 得到的粒径分布如图 1(b)所示。从分布图中可以看出, 通过固相法制备的 NaNbO_3 微米粉末粒径分布均匀, 集中分布在 1.5 μm 左右, 通过计算得到平均粒径为 1.57 μm 。

图 2 所示为 NaNbO_3 微米粉末的元素面分布能谱图。能谱分析结果显示, Na、Nb 和 O 三种元素的摩尔分数分别为 18.71 %、21.16 %和 60.13 %。摩尔比接近 1:1:3, 结果与化学式相同。从能谱图中可以看到 Na、Nb 和 O 三种元素的分布比较均匀, 没有检测到第二相和化学偏析。

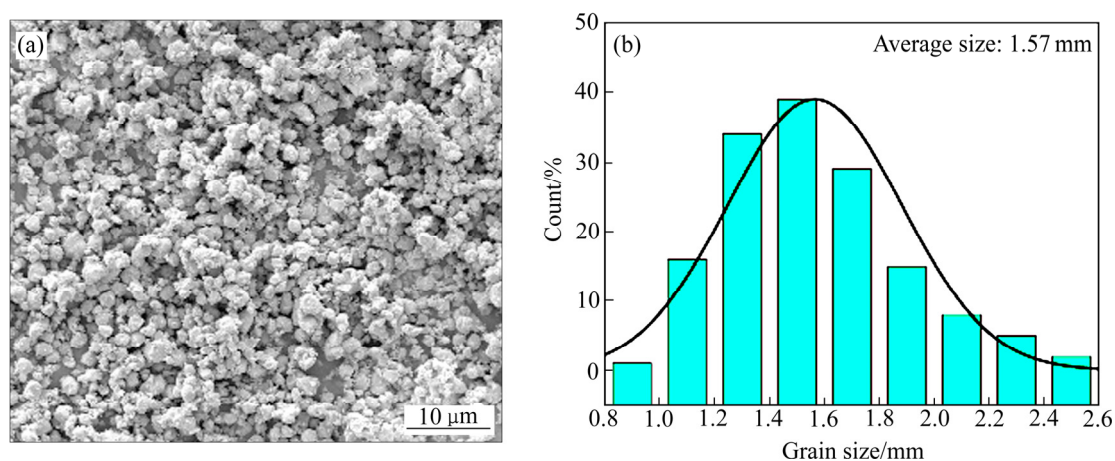


图 1 NaNbO_3 微米粉末的微观形貌图和粒度分布图

Fig. 1 Microscopic morphology of NaNbO_3 micron powder(a) and particle size distribution(b)

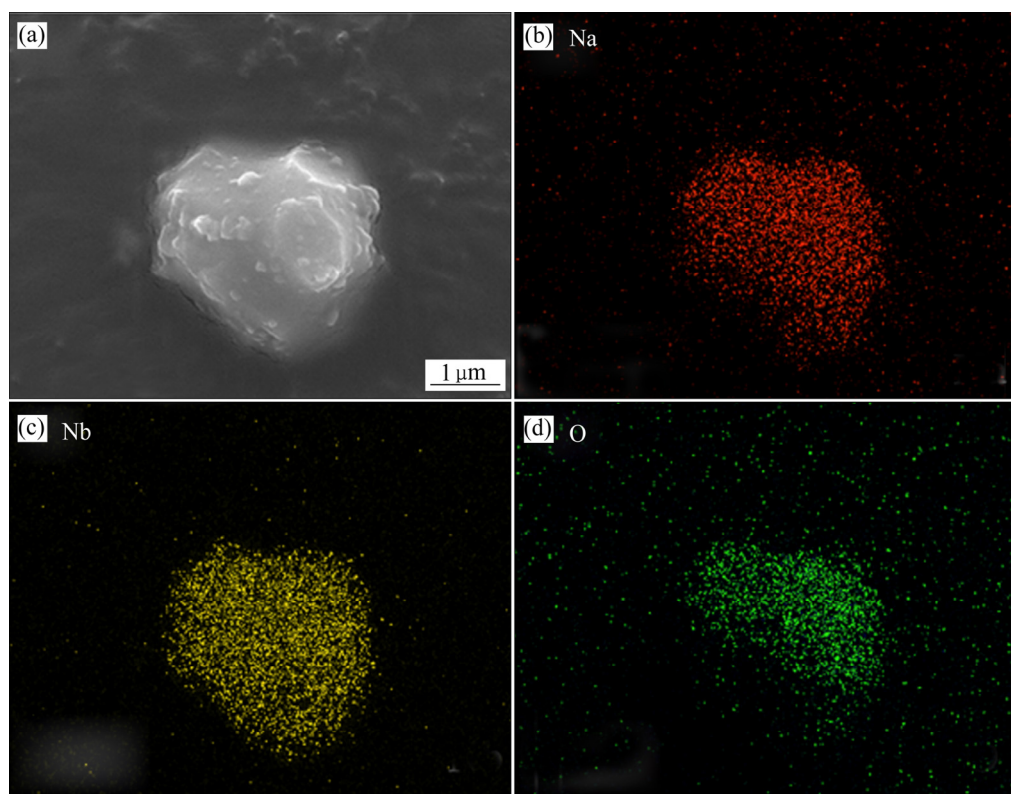


图 2 NaNbO_3 微米粉末的 SEM 像及相应的元素面分布能谱

Fig. 2 SEM image(a) and EDS map scanning distributions of elements Na(b), Nb(c) and O(d) in NaNbO_3 micron powder

2.2 NaNbO_3 微米粉末的晶体结构

图 3 所示为 NaNbO_3 微米粉末的 XRD 谱及其精修图。衍射峰的强度和位置与 PDF#77-0873(空间群为 $P2_1ma$, 铁电相)对应, 没有第二相杂质出现。尖锐的衍射峰说明了其结晶性能良好, 这有助于提高其压电催化效果。

在 NaNbO_3 微小尺度结构中具有 $P2_1ma$ 铁电相

而不是 $Pbcm$ 反铁电相对于压电催化的应用至关重要, 因为前者表现出大的压电性而后者则没有。据报道, 块状 NaNbO_3 晶格的对称性为 $Pbcm$, 其中 $a=5.5687 \text{ \AA}$, $b=15.523 \text{ \AA}$, $c=5.5047 \text{ \AA}$ 。 $P2_1ma$ 铁电相和 $Pbcm$ 反铁电相的能量差很接近, 约为 $1 \text{ meV}^{[23]}$ 。通过施加外加电场^[24], 反铁电相 $Pbcm$ 会发生相变, 转变成铁电相 $P2_1ma$ 。并且, 晶粒尺寸

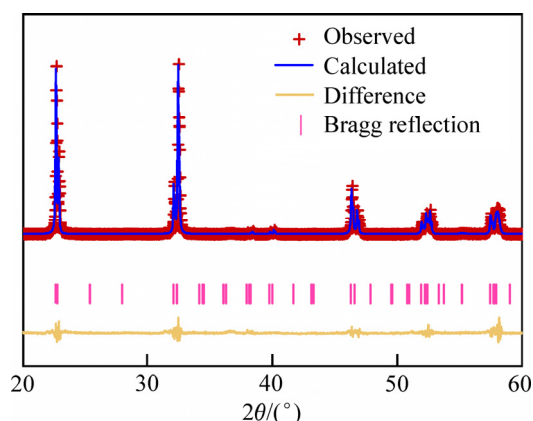


图3 NaNbO₃微米粉末的XRD谱和精修结果图

Fig. 3 XRD pattern and refined result graph of NaNbO₃ micron powder

对NaNbO₃晶型也有影响,SHIRATORI等^[25]通过研究表明,在亚微米尺寸的NaNbO₃中,大量的反铁电 $Pbcm$ 相转变为铁电 $P2_1ma$ 相。

为了进一步了解其晶体结构的详细信息,对所测得的XRD谱用Jade软件进行了全谱拟合,拟合结果如图3所示。拟合后的晶体结构参数详细信息如表1所示。精修结果的晶格参数为 $a=5.569(2)$ Å、 $b=7.79(3)$ Å、 $c=5.518(8)$ Å。精修拟合结果的误差因子(R^2)为9.67%,较低的误差因子表示铁电 $P2_1ma$ 相与压电陶瓷粉末拟合结果具有高的可信度。

2.3 NaNbO₃微米粉末的PFM分析

为进一步考察NaNbO₃粉末的压电性,采用接触式压电力显微镜(PFM)对NaNbO₃粉末测量。NaNbO₃粉末的垂直压电响应振幅结果如图4所示。通过局部振幅回线图可以观察到,在12 V直流(DC)偏置电场的反向作用下,所测量的振幅高达45 mV,这进一步证实了所制备的NaNbO₃微米粉末具有压电性,与上述XRD结果相呼应。

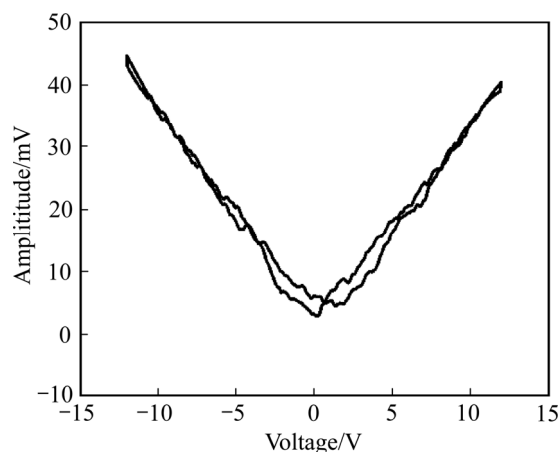


图4 NaNbO₃微米粉末的PFM局部振幅蝶状环形图

Fig. 4 PFM result images of NaNbO₃ micron powder (local amplitude butterfly loops)

2.4 NaNbO₃微米粉末的压电催化性能

为了更直观地了解NaNbO₃微米粉末的催化效果,采用NaNbO₃微米粉末作为催化剂来降解5 mg/L的罗丹明B溶液,结果如图5所示。波长为554 nm处的吸收峰为罗丹明B染料的特征峰,从图5(a)可以看出,在554 nm处的特征吸附峰随振动时间的延长而逐渐下降。在120min后降解率达到94.8%,几乎降解完全。从图5(b)可以看出,随着催化时间的增加,罗丹明B溶液的粉红色逐渐变浅,在120min时接近无色透明,说明降解效果良好,与图5(a)的结果一致。

2.5 NaNbO₃微米粉末的压电催化原理

图6所示为NaNbO₃微米粉末压电催化降解罗丹明B的原理图(降解循环与图6(a)、(b)、(c)、(d)四循环一致)。对于具有压电性的NaNbO₃微米粉末,内部存在自发极化(P_s),部分颗粒是单畴结构或保留有剩余极化的多畴结构,使得压电陶瓷颗粒

表1 NaNbO₃微米粉末的精修结果与对应的PDF卡片

Table 1 Refined results of NaNbO₃ micron powder and corresponding PDF card

Result	Phase	Fitting error factor/%	Space group	Crystal system	$a/\text{\AA}$	$b/\text{\AA}$	$c/\text{\AA}$	$V/\text{\AA}^3$
Refined results	Ferroelectric	9.67	$P2_1ma$	Tetragonal	5.569(2)	7.79(3)	5.518(8)	239.38
PDF card (77-0873)	Ferroelectric		$P2_1ma$	Tetragonal	5.569	7.79	5.518	239.38
PDF card (33-1207)	Antiferroelectric		$Pbcm$	Tetragonal	5.5687	15.523	5.5047	475.84

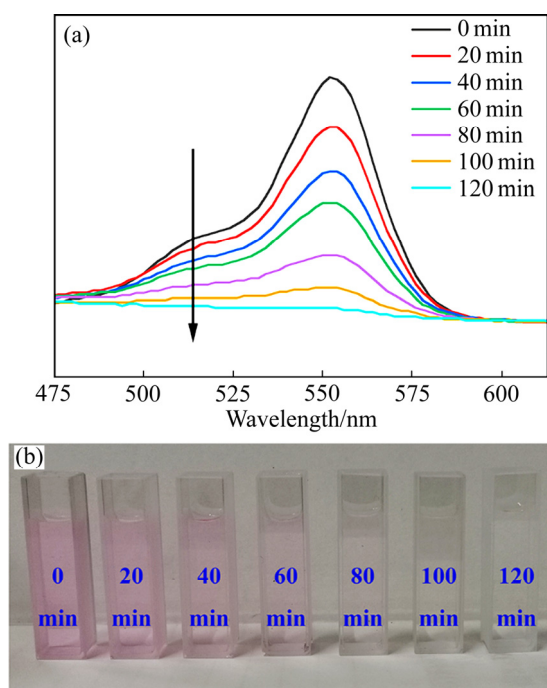
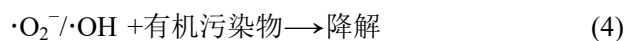


图5 NaNbO₃ 微米粉末作为催化剂在不同振动时间下的罗丹明B的吸收光谱(a)及不同振动时间下罗丹明B溶液的照片(b)

Fig. 5 Absorbance spectra of Rhodamine B under different vibration time of NaNbO₃ micron powder as catalyst(a) and photograph of Rhodamine B solution at different vibration time(b)

内表面的相对两面产生极化电荷,为了维持电中性,相同量的异质电荷被吸附在压电陶瓷颗粒的表面上(见图6(a))。当施加振动时,由于压电材料的正压电效应,陶瓷材料形变,内部极化发生改变,降低了压电陶瓷内部的极化电荷,而吸附在压电陶瓷颗粒表面的相反电荷不能及时发生改变(见图6(b))。为了保持电中性,压电陶瓷颗粒表面的面束缚电荷会和溶液中溶解的O₂和OH⁻发生化学反应,分别生成具有强氧化性和强活性的超氧根离子·O₂⁻和羟基·OH。

·O₂⁻和·OH会和溶液中的有机污染物发生氧化还原反应,达到降解的目的。氧化还原反应过程可以通过式(1)~(3)表示:



随着反应完成,吸附在表面上的相反电荷的数量等于压电陶瓷颗粒内表面对应端的电荷,并再次返回电中性,如图6(c)所示。当再次发生振动,内部自发极化再次增加,内表面的极化电荷再次增加,导致外表面异质电荷转移和新的氧化还原反应,如图6(d)所示。反应完成之后,如图6(a)所示,再次在压电陶瓷颗粒中实现了动态平衡。

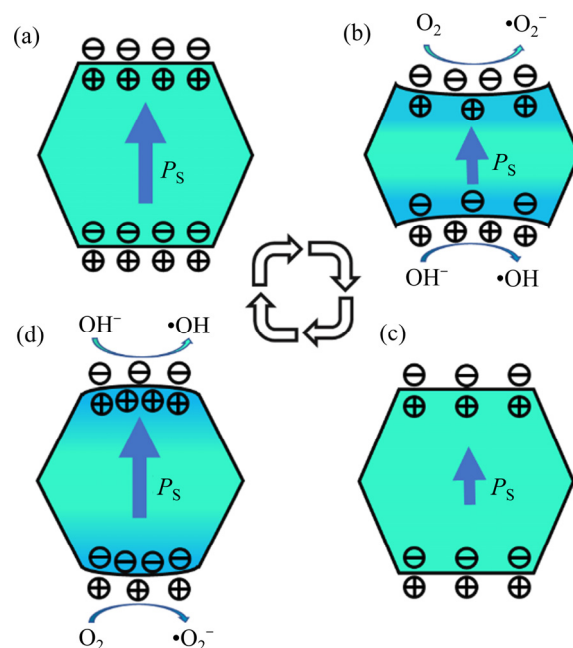


图6 NaNbO₃ 微米粉末压电催化的原理图((a), (c)压电粉末处于机械平衡阶段; (b), (d)极化电荷和吸附电荷之间的瞬变而显示出的表面发展状态)

Fig. 6 Schematic diagram of piezoelectric catalysis of NaNbO₃ micron powder: (a), (c) Piezoelectric powder in stage of mechanical equilibrium; (b), (d) Surface state development due to transient between polarization charges and screening charges

2.6 NaNbO₃ 微米粉末的压电催化降解曲线

压电催化过程中降解度(R_D)的计算基于以下公式:

$$R_D = \left(1 - \frac{c_t}{c_0} \right) \times 100\% \quad (5)$$

式中: c_t 和 c_0 分别为经过降解 t min和初始罗丹明B溶液的浓度。

图7所示为不同反应时间下NaNbO₃微米粉末压电催化降解罗丹明B的降解度曲线和 c_t/c_0 曲线,两张图相互对应。从图7可以看出,仅在NaNbO₃催化剂存在下,没有降解发生,这表明罗丹明B染

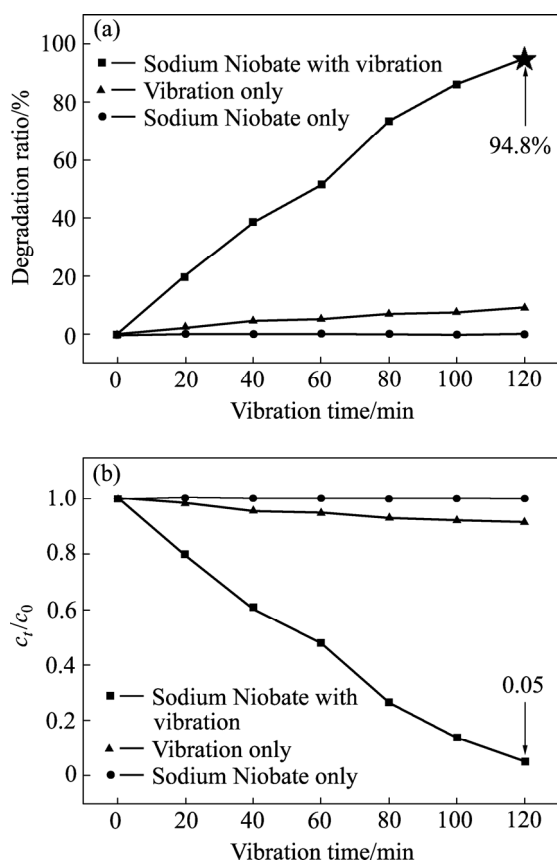


图7 不同反应时间下 NaNbO_3 微米粉末压电催化降解罗丹明 B 的降解度曲线和 c_t/c_0 曲线

Fig. 7 Degradation curve(a) and c_t/c_0 curve(b) of NaNbO_3 micron powder degraded Rhodamine B by piezoelectric catalysis at different reaction time

料的降解不是 NaNbO_3 微米颗粒物理吸收的结果。然而,在同时存在 NaNbO_3 微米颗粒和振动的情况下,经过 120 min 的振动,罗丹明 B 的降解率可达到约 94.8%。因此,振动和 NaNbO_3 微米颗粒都是染料降解的必要前提。实验结果表明,有机染料的降解源自压电催化,这是压电效应与化学氧化还原降解反应的结合效果,不是源自 NaNbO_3 微米颗粒的物理吸收或源自罗丹明 B 溶液的直接超声降解。

3 结论

1) 采用固相法制备的 NaNbO_3 粉末空间群为 $P2_1ma$, 是典型的铁电相结构,且具有压电性。

2) NaNbO_3 粉末尺寸分布较为集中,平均晶粒尺寸为 $1.57 \mu\text{m}$; PFM 测试结果证实该微米粉末具有压电响应。

3) NaNbO_3 微米粉末降解罗丹明 B 的结果显示随着时间的增加,降解效果增加,在 120 min 后,降解度高达 94.8%,证明其具有优异的催化性能。

4) 有机染料的降解源自压电催化,这是压电效应与化学氧化还原降解反应的结合效果,不是源自 NaNbO_3 微米颗粒的物理吸收或源自罗丹明 B 溶液的直接超声降解。

REFERENCES

- [1] 袁 晰, 王晓宇, 王浩威, 等. 电压特性对压电纤维复合物驱动性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(2): 343–349.
YUAN Xi, WANG Xiao-yu, WANG Hao-wei, et al. Effect of voltage characteristic to driving property of piezoelectric fiber composites[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2019, 29(2): 343–349.
- [2] 张少峰, 袁 晰, 闫明洋, 等. 锆钛酸铅压电陶瓷的流延法制备及其性能[J]. 中国有色金属学报, 2020, 30(2): 326–332.
ZHANG Shao-feng, YUAN Xi, YAN Ming-yang, et al. Preparation and properties of lead zirconate titanate piezoelectric ceramics via tape casting[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2020, 30(2): 326–332.
- [3] JUNG J, LEE M, HONG J, et al. Lead-free NaNbO_3 nanowires for a high output piezoelectric nanogenerator[J]. Acs Nano, 2011, 5(12): 10041–10046.
- [4] HONG K, XU H, KONISHI H, et al. Piezoelectrochemical effect: A new mechanism for azo dye decolorization in aqueous solution through vibrating piezoelectric microfibers[J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2012, 116: 13045–13051.
- [5] ZHANG A, LIU Z, GENG X, et al. Ultrasonic vibration driven piezocatalytic activity of lead-free $\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3$ materials[J]. Ceramics International, 2019, 45: 22486–22492.
- [6] YU D, LIU Z, ZHANG J, LI S, et al. Enhanced catalytic performance by multi-field coupling in KNbO_3 nanostructures: Piezo-photocatalytic and ferro-photoelectrochemical effects[J]. Nano Energy, 2019, 58: 695–705.
- [7] ZHOU X, WU S, LI C, et al. Piezophototronic effect in enhancing charge carrier separation and transfer in $\text{ZnO}/\text{BaTiO}_3$ heterostructures for high-efficiency catalytic

- oxidation[J]. *Nano Energy*, 2019, 66: 104127–104242.
- [8] WANG S, WU Z, CHEN J, et al. Lead-free sodium niobate nanowires with strong piezo-catalysis for dye wastewater degradation[J]. *Ceramics International*, 2019, 45: 11703–11708.
- [9] LIU Y, WU J. Synergistically catalytic activities of BiFeO₃/TiO₂ core-shell nanocomposites for degradation of organic dye molecule through piezophototronic effect[J]. *Nano Energy*, 2019, 56: 74–81.
- [10] LU S, ZHANG X, XUE Y. Application of calcium peroxide in water and soil treatment: A review[J]. *J Hazard Mater*, 2017, 337: 163–177.
- [11] DUARTE F, MALDONADO-HÓDAR F, MADEIRA L. New insight about orange II elimination by characterization of spent activated carbon/Fe Fenton-like catalysts[J]. *Applied Catalysis B (Environmental)*, 2013, 129: 264–272.
- [12] WARANG T, PATEL N, FERNANDES R, et al. Co₃O₄ nanoparticles assembled coatings synthesized by different techniques for photo-degradation of methylene blue dye[J]. *Applied Catalysis B (Environmental)*, 2013, 132/133: 204–211.
- [13] CHEN Y P, WU C, MA W X, et al. Research progress of sewage treatment technology[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 726/731: 2576–2579.
- [14] AMENAGHAWON A, ASEGAME P, OBAHIAGBON K. Potential application of urea and NPK 15:15:15 fertilizers as biostimulants in the bioremediation of domestic wastewater[J]. *American Journal of Environmental Protection*, 2013, 1(4): 91–95.
- [15] PEREIRA R, PEREIRA M, ALVES M, et al. Carbon based materials as novel redox mediators for dye wastewater biodegradation[J]. *Applied Catalysis B (Environmental)*, 2014, 144: 713–720.
- [16] 刘利伟, 吴小莲, 莫测辉, 等. TiO₂ 光催化降解水中喹诺酮类抗生素[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2012, 43(8): 3300–3307.
- LIU Li-wei, WU Xiao-lian, MO Ce-hui, et al. Photocatalytic degradation of quinolone antibiotics in water using TiO₂[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2012, 43(8): 3300–3307.
- [17] 邢丽贞, 冯雷, 陈华东. 光催化氧化技术在水处理中的研究进展[J]. *水科学与工程学报*, 2008, 1(1): 7–10.
- XING Li-zhen, FENG Lei, CHEN Hua-dong. Research development of photocatalytic oxidation in the water treatment[J]. *Water Sciences and Engineering Technology*, 2008, 1(1): 7–10.
- [18] ZOU Z, YE J, SAYAMA K, ARAKAWA H. Direct splitting of water under visible light irradiation with an oxide semiconductor photocatalyst[J]. *Nature*, 2001, 414: 625–628.
- [19] XU X, XIAO L, JIA Y, et al. Strong visible light photocatalytic activity of magnetically recyclable sol-gel synthesized ZnFe₂O₄ for Rhodamine B degradation[J]. *Journal of Electronic Materials*, 2017, 47: 536–541.
- [20] JI S, LIU H, SANG Y, et al. Synthesis, structure, and piezoelectric properties of ferroelectric and antiferroelectric NaNbO₃ nanostructures[J]. *Cryst Eng Comm*, 2014, 16: 7598–7604.
- [21] 刘绍军, 王鹏飞, 万冰冰, 等. Nd 掺杂 K_{0.53}Na_{0.47}NbO₃ 基无铅压电陶瓷的结构和性能[J]. *中国有色金属学报*, 2012, 22(7): 2010–2015.
- LIU Shao-jun, WANG Peng-fei, WAN Bing-bing, et al. Structural and electrical properties of Nd doped K_{0.53}Na_{0.47}NbO₃ based lead-free piezoceramics[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2012, 22(7): 2010–2015.
- [22] SHI H, WANG T, CHEN J, et al. Photoreduction of carbon dioxide over nanbo₃ nanostructured photocatalysts[J]. *Catalysis Letters*, 2010, 141: 525–530.
- [23] SHIMIZU H, GUO H, SE R L, et al. Lead-free antiferroelectric: $x\text{CaZrO}_3-(1-x)\text{NaNbO}_3$ system ($0 \leq x \leq 0.10$)[J]. *Dalton Trans*, 2015, 44: 10763–10772.
- [24] ULINZHEEV A, LEIDERMAN A, SMOTRAKOV V, et al. Phase transitions induced in NaNbO₃ crystals by varying the direction of an external electric field[J]. 1997, 39: 972–974.
- [25] SHIRATORI Y, MAGREZ A, DORNSEIFFER J, et al. Polymorphism in micro-, submicro-, and nanocrystalline NaNbO₃[J]. *J Phys Chem B*, 2005, 109: 20122–20130.

Performance of piezoelectric catalysis of sodium niobate powder in degradation of Rhodamine B

XUE Guo-liang, SUN Qi-wei, ZHOU Xue-fan, LUO Hang, ZHANG Dou

(State Key Laboratory of Powder Metallurgy, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Piezoelectric catalysis uses the inverse piezoelectric effect of piezoelectric materials to generate electric charges to carry out catalytic reactions. NaNbO_3 micron powder was prepared by solid-phase method, and its space group was $P2_1ma$ by XRD, which is a ferroelectric phase. The PFM test proved that it has piezoelectric response. Using ultrasound to apply external force to test its piezoelectric catalytic ability to degrade the dye Rhodamine B. The results show that under ultrasonic power of 200 W, with the increase of time, the concentration of Rhodamine B solution decreases, and the degradation degree is as high as 94.8% at 120 min.

Key words: piezoelectric catalysis; piezoelectric ceramic; NaNbO_3 micron powder; Rhodamine B

Foundation item: Projects(U19A2087, 52002404) supported by the National Natural Science Foundation of China; projects(2020GK2062) supported by the Special Funding Support for the Construction of Innovative Provinces in Hunan Province, China

Received date: 2021-01-29; **Accepted date:** 2021-06-30

Corresponding authors: LUO Hang; Tel: +86-731-88877196; E-mail: hangluo@csu.edu.cn
ZHANG Dou; Tel: +86-731-88877196; E-mail: dzhang@csu.edu.cn

(编辑 龙怀中)