

DOI: 10.3969/j.issn/1671-6841.2012.02.011

焊接时间对碳纳米管-Ti 焊接效果的影响

赵波, 齐红霞

(徐州师范大学 物理与电子工程学院 江苏 徐州 221116)

摘要: 利用高频超声波的软化效应焊接金属 Ti 上的碳纳米管, 研究焊接时间对碳纳米管焊接效果的影响. 结果表明, 焊接时间太短, 碳纳米管松散分布在 Ti 金属表面, 不能与金属形成紧密接触; 焊接时间过长, 金属基体被破坏, 同样达不到焊接要求. 只有选择合适的焊接时间(0.1~10 s), 才能使碳纳米管与 Ti 有效焊接, 呈现较小的两端电阻.

关键词: 碳纳米管; 金属; 焊接

中图分类号: TN 405.96

文献标志码: A

文章编号: 1671-6841(2012)02-0048-04

0 引言

碳纳米管具有独特的力学、电学等性质, 基于碳纳米管的传感器^[1-2]、场效应晶体管^[3-4]和场发射平板显示器^[5-6]等纳电子器件已成为纳米技术研究的重要方向和热点. 由于碳纳米管不易操控, 难以与金属电极形成牢固可靠的接触, 导致碳纳米管与电极的接触电阻高、接触强度低. 目前已经开发了多种改善碳纳米管与电极接触性能的方法, 如电子束焊接^[7-8]、扫描探针显微镜焊接^[9]、二次金属包埋^[10-11]、焦耳热或高温退火^[12-13]等, 这些方法都可以在一定程度上改善碳纳米管与外部电极接触的机械和电学性能, 但是电子束和原子力显微镜焊接产率低、操作复杂; 二次金属包埋和高温退火较为简单, 但是沉积金属和高温退火容易引入其他杂质, 对器件产生不利影响.

超声焊接是一种新颖的碳纳米管焊接技术^[14-15], 该技术是在一定静压力下, 利用超高频、微振幅和超硬焊头, 使碳纳米管与金属电极之间形成长期稳定的低电阻接触和牢固可靠的机械连接. 在已有的关于超声焊接的文献中, 很少有关于焊接参数的报道. 焊接时间是焊接工艺中最具操作性的参数, 对焊接质量影响很大, 由于碳纳米管纳米级的尺度, 对焊接条件要求更高. 作者研究了焊接时间对碳纳米管-Ti 样品焊接效果的影响.

1 实验部分

实验中采用两种样品进行研究, 一种是金属 Ti 表面电泳碳纳米管薄膜, 用来研究焊接时间对碳纳米管表面形貌的影响; 另一种是 Ti-碳纳米管-Ti 结构样品, 用来研究焊接时间对器件两端电阻的影响.

碳纳米管薄膜样品采用电泳沉积制备. 将 4 mg 酸化处理后的多壁碳纳米管加入到 400 mL 无水乙醇中, 同时加入 10 mg $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 配制成碳纳米管电泳溶液. 将上述溶液超声 1 h, 静置 2 d 后滤出上层清液待用. 实验中阴极为表面溅射 Ti 的硅片, 阳极为不锈钢片, 保持两电极之间的距离为 2 cm, 电泳电压为 20 V.

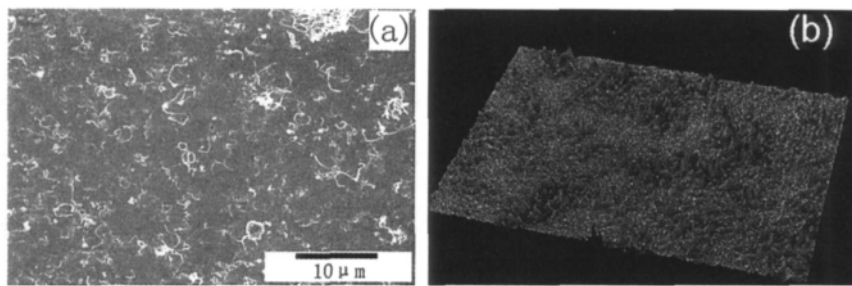
为了表征碳纳米管-金属焊接前后的电学特性, 采用双向电泳方法在微电极间组装单壁碳纳米管, 测量焊接前后电极间电流-电压($I-U$)特性曲线. 使用 lift-off 微加工工艺制备间距约为 1 μm 的 Ti 电极对, 在电极间施加高频交流电场, 将分散良好的单壁碳纳米管溶液滴加在电极间, 待溶液干燥后得到组装好的 Ti-

碳纳米管 - Ti 样品.

利用扫描电子显微镜(SEM , FEI SIRION 200) 和三维轮廓仪(WYKO NT1100 , Veeco) 分析碳纳米管的表面形貌 , 焊接前后样品的两端电阻利用半导体参数测试仪(Agilent 4156C) 进行测量.

2 结果和讨论

图 1 是电泳沉积碳纳米管的表面形貌图. 从图 1(a) 的扫描电子显微镜图可以看出 , 碳纳米管在金属表面均匀分散 , 没有出现大量团聚的现象. 图 1(b) 的三维轮廓分析可以得到样品的表面均方根粗糙度为 19.22 nm. 这种小的起伏有利于焊头与样品的紧密接触 , 从而保证超声能量有效传输 , 使碳纳米管均匀可靠焊接.

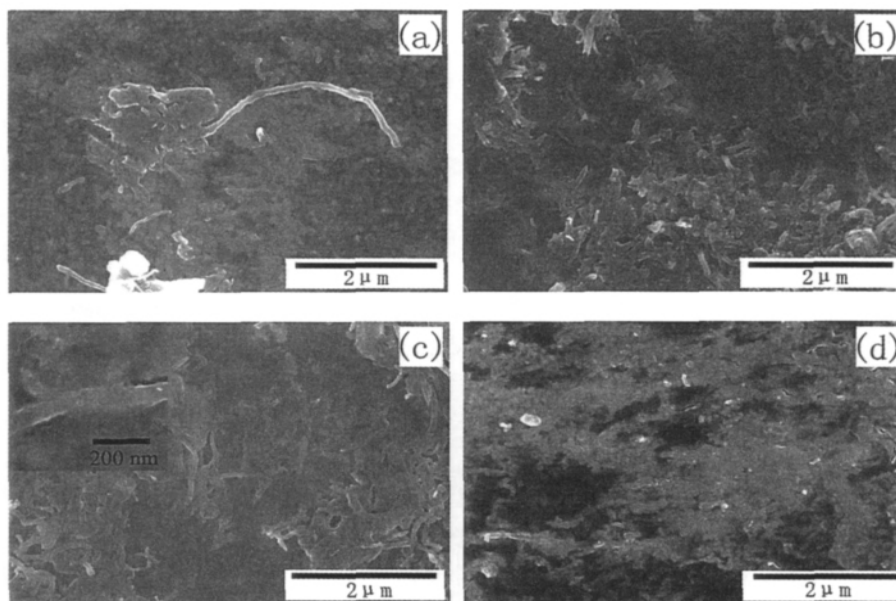


(a) 扫描电镜图; (b) 表面轮廓图

图 1 电泳沉积碳纳米管的表面形貌

Fig. 1 Morphology of the electrophoretically deposited carbon nanotubes

图 2 是焊接时间分别为 0.01 s、0.1 s、1 s、15 s 的 SEM 图. 从图中可以看出 , 焊接时间过短(0.01 s) , 超声振动能量没有有效传递到金属表面 , 碳纳米管与 Ti 之间不能形成良好的接触. 随着焊接时间的延长 , 碳纳米管与金属的接触越来越好. 当焊接时间为 1 s 时 , 碳纳米管与 Ti 紧密结合 , 碳纳米管埋入金属基体 , 如图 2(c) 中插图所示. 但是时间过长(15 s) , 在超声能量作用下 , 碳纳米管被剪切变短 , 金属表面被破坏 , 虽然部分碳纳米管也能埋入金属基体形成接触 , 但是基体的破坏限制了超声焊接的应用.



(a)0.01 s; (b)0.1 s; (c)1 s; (d)15 s

图 2 不同焊接时间样品的 SEM 图

Fig. 2 SEM images of samples welded for different time

图3是焊接时间为0.1 s和1 s样品焊接前后的 $I-U$ 特性曲线,插图是样品测量示意图.从图中可以看出,对于焊接时间为0.1 s和1 s的样品,两端电阻分别由焊接前的 $1.5 \times 10^4 \Omega$ 和 $1.3 \times 10^7 \Omega$ 下降到 $2 \times 10^3 \Omega$ 和 $7 \times 10^4 \Omega$.两端电阻的显著降低是因为高频超声能量的“超声软化效应”,碳纳米管在焊接压力的作用下被嵌入到软化的金属电极中,增大了碳纳米管与电极间的有效接触面积,导致碳纳米管与电极间形成更好的电学接触.另外,高频超声的振动摩擦可在碳纳米管与金属的接触处形成瞬间高温,具有清洁接触表面的作用,使得接触处的杂质或其他吸附物脱附,形成良好的接触界面.当焊接时间过短时(0.01 s),振动能量来不及传递到焊件,造成焊接不良,样品的两端电阻没有明显的变化.焊接时间过长(15 s),由于输入焊件的能量过大,容易引起金属微电极的破坏,焊接后样品的两端电阻无穷大.

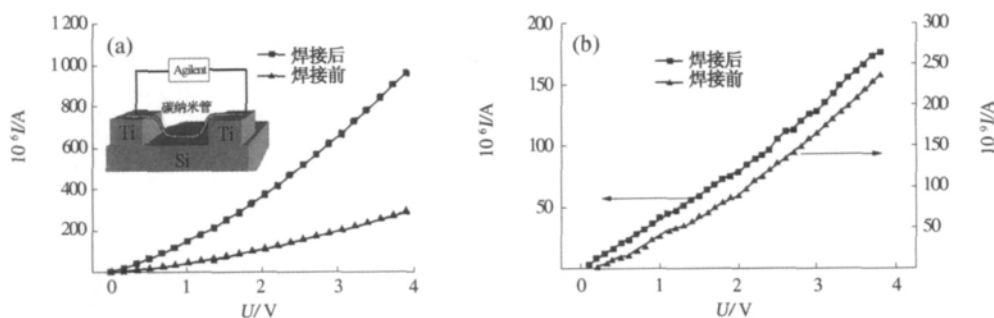


图3 焊接时间为0.1 s (a) 和1 s (b) 样品的 $I-U$ 特性曲线

Fig.3 Typical $I-U$ curves of samples welded for 0.1 s (a) and 1 s (b)

3 结论

利用超声能量焊接金属 Ti 上的碳纳米管,在 0.1 ~ 10 s 的焊接时间范围内,碳纳米管可以嵌入到软化的金属基体,从而形成紧密的碳纳米管-金属接触.通过研究金属-Ti-金属结构样品焊接前后的两端电阻变化,发现这种紧密接触大大减小了样品的两端电阻,表明超声焊接可以降低碳纳米管-Ti 的接触电阻,这为解决碳纳米管与电极的接触问题提供了一种新的途径.

参考文献:

- [1] Penza M, Rossi R, Alvisi M, et al. Metalloporphyrins-modified carbon nanotubes networked films-based chemical sensors for enhanced gas sensitivity [J]. *Sens Actuators B*, 2010, 144(2): 387-394.
- [2] 陈晓航,王雨化,徐东,等. 基于碳纳米管的呼吸传感器及便携式系统设计[J]. *郑州大学学报:理学版*, 2010, 42(3): 80-83.
- [3] Javey A, Guo J, Wang Q, et al. Ballistic carbon nanotube field-effect transistors [J]. *Nature*, 2003, 424(6949): 654-657.
- [4] Ishii A, Takeda S, Hattori S, et al. Ultrasensitive detection of organophosphate insecticides by carbon nanotube field-effect transistor [J]. *Colloids Surf A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2008, 313/314: 456-460.
- [5] 樊志琴,姚宁,杨仕娥,等. 不锈钢衬底碳纳米管薄膜的场发射特性[J]. *郑州大学学报:理学版*, 2004, 36(2): 45-49.
- [6] Wang F H, Lin T C, Tzeng S D. Field emission properties of carbon nanotube cathodes produced using composite plating [J]. *Appl Surf Sci*, 2010, 256(24): 7600-7605.
- [7] Madsen D N, Molhave K, Mateiu R, et al. Soldering of nanotubes onto microelectrodes [J]. *Nano Lett*, 2003, 3(1): 47-49.
- [8] Yu M, Dyer M J, Skidmore G D, et al. Three-dimensional manipulation of carbon nanotubes under a scanning electron microscope [J]. *Nanotechnology*, 1999, 10(3): 244-252.
- [9] 于海波,董再励,李文荣. 基于原子力显微镜的碳纳米管焊接[J]. *纳米技术与精密工程*, 2010, 8(3): 226-230.
- [10] Liebau M, Unger E, Duesberg G S, et al. Contact improvement of carbon nanotubes via electroless nickel deposition [J]. *Appl Phys A*, 2003, 77(6): 731-734.
- [11] Seidel R, Liebau M, Duesberg G S, et al. In-situ contacted single-walled carbon nanotubes and contact improvement by electro-

- less deposition [J]. *Nano Lett*, 2003, 3(7): 965-968.
- [12] Dong L, Youkey S, Bush J, et al. Effects of local Joule heating on the reduction of contact resistance between carbon nanotubes and metal electrodes [J]. *J Appl Phys*, 2007, 101(2): 024320-7.
- [13] 谭苗苗, 叶雄鹰, 王晓浩, 等. 利用退火的碳纳米管与金属接触特性的改善 [J]. *功能材料与器件学报*, 2008, 14(1): 227-230.
- [14] Chen Changxin, Liu Liyue, Lu Yang, et al. A method for creating reliable and low-resistance contacts between carbon nanotubes and microelectrodes [J]. *Carbon*, 2007, 45(2): 436-442.
- [15] Chen Changxin, Yan Lijun, Kong E S W, et al. Ultrasonic nanowelding of carbon nanotubes to metal electrodes [J]. *Nanotechnology*, 2006, 17(9): 2192-2197.

Effects of Time on the Welding of Carbon Nanotube and Ti

ZHAO Bo, QI Hong-xia

(College of Physics and Electronic Engineering, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Ultrasonic softening effect was used to weld carbon nanotubes (CNTs) on Ti electrode, and the effects of welding time on CNT welding quality were studied. The results showed that CNTs loosely lay on the surface of the Ti substrate with a short welding time, and there was no intimate contact between CNTs and Ti; while the welding time was too long, welding standard was not reached due to the destroyed electrodes. Only when proper welding time was chosen (0.1 ~ 10 s), could effective welding with lower two-terminal resistance be realized.

Key words: carbon nanotube; metal; welding

(上接第12页)

- [3] Jeon Y C, Kim H K, Lee Y, et al. On weak Armendariz rings [J]. *Bull Korean Math Soc*, 2009, 46(1): 135-146.
- [4] Lee T E, Wong T L. On Armendariz rings [J]. *Houston J Math*, 2003, 29: 583-593.
- [5] Kim N K, Lee Y. Armendariz rings and reduced rings [J]. *J Algebr*, 2000, 223: 477-488.
- [6] Hong C Y, Kwak T K, Rizvi S T. Extensions of generalized Armendariz rings [J]. *Algebra Collq*, 2002, 30(2): 751-761.
- [7] Armendariz E. A note on extensions of Baer and p. p. \ast -rings [J]. *J Austral Math Soc*, 1974, 18: 470-473.
- [8] Kim N K, Lee Y. Extensions of reversible rings [J]. *J Pure Appl Algebra*, 2003, 185: 207-223.

On Central Weak Armendariz Rings

XIE Xiao-juan, SONG Xian-mei

(Department of Mathematics, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China)

Abstract: Central weak Armendariz rings were defined, and examples showed they were truly generalization of weak Armendariz rings and central Armendariz rings. Central weak Armendariz rings were mainly given an equivalence characterization; and relations between central weak Armendariz rings and Abelian rings and p. p. \ast -rings were introduced.

Key words: central weak Armendariz ring; central Armendariz ring; weak Armendariz ring; Abelian ring; p. p. \ast -ring