

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.03.013

TVS 二极管用于半导体桥静电安全性研究^{*}

左成林 周 彬 杜伟强

南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

[摘 要] 为了加强半导体桥(SCB)的静电安全性,利用 TVS 二极管抗浪涌特性,分别对经 TVS 二极管加固前、后的 SCB 进行静电安全性研究。研究结果发现:并联 TVS 二极管后,SCB 的发火时间无显著性变化;在 500 pF、不串电阻条件下,SCB 在 6 kV 条件下均未发火,在 8 kV 条件下均发火;在 500 pF、不串电阻条件下,TVS 二极管加固后的 SCB 在 9 kV 条件下均未发火,在 13 kV 条件下均发火;9 kV 静电作用后,TVS 加固后 SCB 的发火时间无显著性变化。因此,TVS 二极管既能不影响 SCB 的正常发火性能,又能有效提高 SCB 的静电安全性。

[关键词] 半导体桥;TVS 二极管;静电安全性

[分类号] TJ450

引言

半导体桥(SCB)^[1-2]是利用微电子技术发展起来的新型电火工品,具有作用迅速、体积小、发火能量低、可靠性好等优点,且具有一定的抗静电能力^[3]。但是近年来,电火工品的静电安全性问题日益突出,半导体桥的静电安全性有必要得到进一步提高。

国内外研究者对电火工品的静电安全性进行了多年的研究,提出了采用静电泄放通道^[4]、增加绝缘环^[5]、集成齐纳二极管^[6]、并联压敏电阻和 TVS 二极管等方法^[7-8]。任钢^[9]利用 TVS 二极管对半导体桥进行了电磁加固,在美军标和国军标静电条件下进行了静电安全性研究,TVS 二极管体现出了优良的电磁防护能力。但是,在不串电阻更为严酷的静电条件下,TVS 二极管的安全性目前尚未见公开报道。

本文采用 TVS 二极管进行静电加固(ESD),在 500 pF 电容、不串电阻条件下,采用 TVS 二极管对半导体桥火工品进行静电加固,对 SCB 的静电安全性进行研究。

1 试验样品

选取 SMBJ10CA 型号的 TVS 二极管用于 SCB 静电防护,该器件为贴片式结构,尺寸为 2 mm × 2 mm × 0.3 mm,峰值功率为 600 W,漏电流小于 5 μA,击穿电压 11 V 左右,外观如图 1 所示。具有响应快(纳秒级)、体积小、承载能力强等优良特性。



图 1 试验用 TVS 外观图
Fig. 1 Appearance of TVS diodes used in test

本文利用 TVS 二极管的这些特性对 SCB 进行静电安全性试验。将 TVS 二极管与 SCB 通过导线连接,当静电电压高于器件的击穿电压时,TVS 二极管会瞬间响应,由高阻值断路状态转为低阻值静电泄放通道,瞬间分走大量静电能力,对 SCB 起到很好的防护作用。典型半

导体桥尺寸为 100 μm × 400 μm × 2 μm,电阻约为 1.0 Ω,全发火能量约为 5 mJ。将斯蒂芬酸铅(LT-NR)涂覆在半导体桥芯片上,制成 SCB 火工品样品。将 TVS 二极管通过导线外接在 SCB 脚线端,如图 2 所示。

2 试验原理及装置

试验在 500 pF、不串电阻条件下进行,静电放电对 SCB 的作用过程可以看成简单的 R-C 电路,试验原理如图 3 所示。图 3 中 C 为储能电容,设定充电电压,开关转向 a 时进行充电,开关转向 b 时对 SCB 进行放电。

试验所选用的仪器为 JGY-50Ⅲ 静电感度测试仪、储能电容、防爆箱等。所用药剂为 LTNR,采用脚静电加载方式。

^{*} 收稿日期:2015-09-25

作者简介:左成林(1989-),男,硕士研究生,主要从事半导体桥点火研究。E-mail:zuochenglin86@sina.com

通信作者:周彬(1971-),女,博士,副研究员,主要从事半导体桥火工品研究。E-mail:zhoubin8266@sina.com

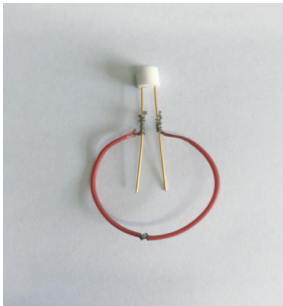


图 2 试验用外接 TVS 的 SCB 外观图

Fig.2 Appearance of SCB with external TVS diodes used in test

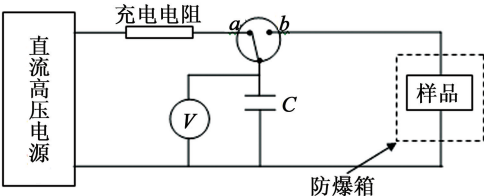


图 3 静电试验原理图

Fig. 3 Schematic of electrostatic test

3 试验结果与讨论

3.1 静电试验结果

对未防护的典型 SCB 在不同静电电压下进行试验,得到试验结果如表 1 所示。

表 1 500 pF 下典型 SCB 静电试验结果

Tab. 1 500 pF electrostatic test results of typical SCB

电压/kV	静电能量/mJ	样品数量	发火数量
5	6.25	8	0
6	9.00	8	0
7	12.25	8	4
8	16.00	8	8

试验结果表明,在 500 pF、不串电阻条件下,SCB 火工品在 6 kV 条件下均未发火,在 7 kV 条件下有 4 发发火,在 8 kV 条件下全部发火。可以发现,SCB 本身具有一定的抗静电能力,临界不发火电压为 6 kV,全发火电压为 8 kV。

为了提高 SCB 静电安全性,通过 TVS 二极管进行加固,所得试验结果如表 2 所示。

表 2 试验结果表明,在 500 pF、不串电阻条件下,TVS 加固后 SCB 分别在 7、8、9 kV 下 8 发样品均未发火,分别在 10、11、12 kV 下 3 发样品均有 1 发样品发火,在 13 kV 下 3 发样品均发火。对比表 1 数据,在 500 pF、不串电阻条件下,TVS 二极管将 SCB 火工品不发火电压由 6kV 提高到 9 kV,不发火静电能量由 9.00 mJ 提高到 20.25 mJ,全发火电压由 8 kV 提高到 13 kV,全发火静电能量由 16.00 mJ 提

表 2 500 pF 下 TVS 防护后的典型 SCB 静电试验结果

Tab.2 500 pF electrostatic test results of typical SCB with TVS diodes

电压/kV	静电能量/mJ	样品数量	发火数量
7	12.25	8	0
8	16.00	8	0
9	20.25	8	0
10	25.00	3	1
11	30.20	3	1
12	36.00	3	1
13	42.25	3	3

高到 42.25 mJ,显著提高了 SCB 的抗静电能力。

TVS 二极管具有瞬态抑制特性,具有优良的电压钳制功能,利用此特性对 SCB 进行静电防护。当 SCB 火工品受到静电脉冲时,TVS 二极管瞬间响应,由高阻值断路状态转为毫欧级低阻值静电泄放通道,泄放大量静电能量,有效地保护 SCB 火工品。在不串电阻条件下,静电电压和静电能量相比于国军标和美军标条件下要高出许多,TVS 的静电防护能力会受到一定限制。

3.2 静电对 SCB 电爆性能的影响

在对 SCB 火工品进行防护设计时要考虑到防护措施对 SCB 发火性能无影响,因此,需要对防护后的电爆性能进行测试。SCB 火工品经过静电作用后的性能是否发生改变也是考核静电防护措施是否有效的方法,因此,也需要对静电作用后的 SCB 火工品的电爆性能进行测试。

试验仪器:高速恒流起爆电源,高速数字存储示波器。试验条件:电流 5 A,脉冲持续时间 10 ms。将获得数据进行分析处理,得到 3 种样品的爆发时间,结果如表 3 所示。

表 3 恒流发火试验结果

Tab.3 Ignition results under constant conditions

样品类型	样本量	发火时间均值/ μ s	标准偏差
SCB	5	70.2	6.50
SCB + TVS	5	81.4	13.32
ESD 后 SCB + TVS	5	83.1	11.85

将 3 种火工品恒流发火时间进行 t 检验,比较 3 种火工品的发火时间是否具有显著性差异,所得结果见表 4。水平 $\alpha=0.05$,样本量 $n_1=5$ 、 $n_2=5$,查 t 检验分布表可得 $t_{1-\alpha/2}\{n_1+n_2-2=8\}=2.306$ 。

综合表 3 和表 4 结果,并联 TVS 二极管后,SCB

表 4 发火时间的 t 检验结果

Tab. 4 t -test results of ignition time

类型	t 检验值
SCB 与 SCB + TVS	1.690 < 2.306
SCB + TVS 与 ESD 后 SCB + TVS	0.213 < 2.306

火工品的发火时间均值略有增大, t 检验结果无显著影响;对比静电加固前、后并联 TVS 的 SCB 火工品的发火时间、 t 检验结果无显著性影响。TVS 二极管在击穿前处于高阻值断路状态,与 SCB 并联不会影响其正常发火性能;TVS 加固的 SCB 在经受 9 kV 静电作用后均未发火,其发火时间无显著性变化。

4 结论

本文利用 TVS 二极管的抗浪涌特性对 SCB 火工品进行静电加固,在 500 pF、不串电阻静电条件下研究其加固效果,得到以下结论:

1)5 A 恒流发火试验结果表明,并联 TVS 二极管对 SCB 的发火时间无显著性影响。

2)500 pF、不串电阻条件下,SCB 火工品临界不发火电压为 6 kV,不发火静电能量为 9 mJ;全发火电压为 8 kV,全发火静电能量为 16 mJ,表明 SCB 自身具有一定的抗静电能力。

3)500 pF、不串电阻条件下,TVS 二极管将 SCB 火工品不发火电压由 6 kV 提高到 9 kV,不发火静电能量由 9.00 mJ 提高到 20.25 mJ;全发火电压由 8kV 提高到 13 kV,全发火静电能量由 16.00 mJ 提高到 42.25 mJ,显著提高了 SCB 的抗静电能力。

4)对 9 kV 静电防护后的 SCB 进行 5 A 恒流发火试验,发火时间无显著性变化。

因此,TVS 作为 SCB 火工品静电加固的一种方式,能够显著提高 SCB 静电安全性。

参 考 文 献

[1] BICKES R W,GRUBELICH M C,HAMIS J A,et al. An overview of semiconductor bridge, SCB, applications at

Sandia National Laboratories [C]//31st Joint Propulsion Conference and Exhibit. San Diego,CA,US,1995:2549.

[2] 叶迎华. 火工品技术 [M]. 北京:北京理工大学出版社,2007.

[3] NOVOTNEY D B, WELCH B M, EWICK D W. Semiconductor bridge development for enhanced ESD and RF immunity [C]//35th Joint Propulsion Conference and Exhibit. Los Angeles,CA,USA,1999:2417.

[4] 赵文虎. 某导弹用电点火具抗静电技术研究 [J]. 火工品,2001(3):24-27.

ZHAO W H. Antistatic technology study on an electric igniter which used a missile [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2001(3):24-27.

[5] 马辉,魏光辉,张龙. 绝缘垫在火箭弹静电防护中的作用 [J]. 北京理工大学学报,2005,25(增刊):96-98.

MA H, WEI G H, ZHANG L. Function study of insulated cushion of rocket projectile on protection from ESD [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2005,25(Supl.):96-98.

[6] KING T L, TARBELL W W. Pin-to-pin electrostatic discharge protection for semiconductor bridges: SAND2002-2213 [R]. 2002.

[7] 陈飞,周彬,秦志春,等. 半导体桥火工品的防静电和防射频技术 [J]. 爆破器材,2010,39(3):28-32.

CHEN F, ZHOU B, QIN Z C, et al. Anti-electrostatic and anti-RF technology of semiconductor bridge explosive devices [J]. Explosive Materials, 2010,39(3):28-32.

[8] 周彬,王林狮,秦志春,等. 一种半导体桥火工品抗静电技术 [J]. 火工品,2010(2):5-7.

ZHOU B, WANG L S, QIN Z C, et al. A Method of anti-electrostatic discharge for semiconductor bridge initiators [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2010(2):5-7.

[9] 任钢. 半导体桥火工品电磁兼容技术研究 [D]. 南京:南京理工大学,2012.

REN G. Research on the electromagnetism compatible technology of Semiconductor Bridge initiators [D]. Nanjing:Nanjing University of Science & Technology,2012.

Electrostatic Safety of Semiconductor Bridge with External TVS Diodes

ZUO Chenglin, ZHOU Bin, DU Weiqiang

School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

[ABSTRACT] In order enhance electrostatic safety of the semiconductor bridge (SCB), two kinds of SCB, including SCB and SCB with external TVS diodes, were tested in the electrostatic discharge experiment because of the surge handling capability of TVS diodes. The results show that the ignition time of SCB paralleling TVS diodes has no significant changes. On the conditions of 500 pF without series resistance, SCB does not fine at 6 kV and full fine at 8 kV, while SCB paralleling TVS diodes does not fine at 9 kV and full fine at 13 kV. Ignition time of SCB with TVS diodes has no significant changes after 9 kV electrostatic discharge experiment. It's concluded that TVS diodes have no influence on normal ignition performance of SCB, and can improve the electrostatic safety of SCB effectively.

[KEY WORDS] semiconductor bridges; TVS diodes; electrostatic safety