

文章编号: 1006-9941(2007)02-0131-03

半导体桥 (SCB) 冲击片起爆技术研究

杨振英, 杨树彬, 王新才, 殷志南

(中国兵器工业第 213 研究所, 陕西 西安 710061)

摘要: 优化设计了硅半导体芯片及桥区参数, 并对 SCB 冲击片起爆 HNS-IV 炸药及影响发火能量的因素进行了试验研究。结果表明, 致密性好的 SCB 多晶硅, 厚度为 $4\ \mu\text{m}$ 时, 50% 发火能量低, 起爆重现性好。

关键词: 应用化学; 起爆; 半导体桥冲击片; 发火能量; 半导体芯片

中图分类号: TJ45

文献标识码: A

1 引 言

爆炸箔冲击片起爆技术和半导体桥 (semiconductor bridge, SCB) 雷管是 20 世纪 90 年代后期发展起来的两种新的起爆技术, 不但用于起爆, 而且还可用于点火, 两种起爆技术各有优缺点。随着冲击片雷管 (slapper) 技术的成熟, 美国出现了 SCB 冲击片雷管 (semiconductor slapper) 的专利^[1-3], 对相关的研究从未见报道。我国在低压 SCB 雷管方面进行了大量的研究工作, 已经形成了制式产品, 但对 SCB 冲击片起爆技术一直没有人研究。本文对爆炸箔起爆技术与半导体桥雷管技术各自优点进行综合, 形成不含起爆药和松装猛炸药的 SCB 冲击片起爆技术, 用于直列式安全起爆系统, 对推动我国弹药起爆技术的发展和钝感化有重大意义。

2 SCB 冲击片起爆原理

SCB 冲击片起爆原理与爆炸箔起爆原理基本相同, 都是靠桥箔气化产生等离子体推动飞片高速撞击起爆钝感炸药。SCB 冲击片起爆过程是: 来自储能电容的大电流脉冲通过 SCB 时, 桥区的多晶硅在极短时间内被加热, 迅速汽化, 形成高温高压等离子体, 等离子体迅速膨胀, 剪切贴在多晶硅桥箔上方的聚酰亚胺飞片, 并驱动聚酰亚胺飞片高速撞击 HNS 炸药柱输入端表面, 使其起爆。SCB 冲击片起爆装置示意图如图 1 所示。

3 试 验

收稿日期: 2006-08-24; 修回日期: 2006-11-01

作者简介: 杨振英 (1953 -), 男, 高级工程师, 主要从事爆炸箔起爆与点火技术研究。e-mail: Yang_zhenying@163.com

3.1 SCB 芯片制作

SCB 芯片的形状基本上与传统的 SCB 雷管用的形状类似, 但桥区的尺寸比传统的 SCB 尺寸要大得多。该技术借助现代微电子工艺制成硅 SCB 芯片, 进行蚀刻桥区, 桥区尺寸长 $0.3\ \text{mm}$, 宽 $0.3\ \text{mm}$, 并将尖角倒圆, 多晶硅厚度为 $2\sim 4\ \mu\text{m}$, 两边的焊盘采用多层复合金属表面镀金, 镀金的厚度大于 $1\ \mu\text{m}$, 并且附着力要强。SCB 芯片实物照片如图 2 所示。

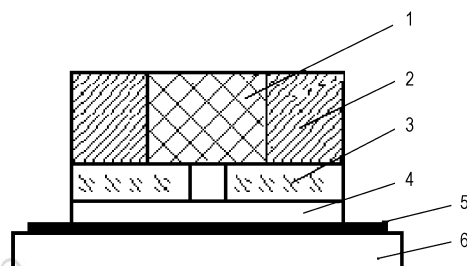


图 1 SCB 冲击片起爆结构示意图

1—HNS-IV 药柱, 2—药柱套, 3—加速膛, 4—聚酰亚胺飞片, 5—SCB 芯片, 6—陶瓷基片

Fig. 1 Constructional drawing of initiation of semiconductor slapper

1—HNS-IV pellet, 2—pellet sleeve, 3—barrel, 4—polyimide flyer, 5—SCB flyer, 6—ceramic plate



图 2 SCB 芯片桥区实物放大照片

Fig. 2 The enlarged photograph of SCB chip bridge section

3.2 起爆炸药的选择

SCB 冲击片起爆炸药选择 HNS-IV 炸药,该药剂是直列式起爆系统许用传爆药,可以直接压装在管壳中,也可以压成药柱装进限制套管中。压药密度至少达到最大理论密度的 90% 以上,药柱密度高、强度大,不但耐冲击过载,也便于组装。本试验用 HNS-IV 药柱的尺寸为 $\Phi 4 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$,药柱密度为 $1.60 \pm 0.02 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

3.3 试验装配及发火装置

试验装配前,SCB 芯片上方贴 25 μm 厚的聚酰亚胺飞片,并且贴飞片时胶层尽量薄、均匀。试验装配时,加速膛孔中心必须对准 SCB 芯片桥区中心的多晶硅,偏差不大于 0.1 mm,并且用粘合剂加以固定。将发火引线焊到 SCB 芯片两端的金属焊盘上,引线尽量用导电性能好的扁平线,焊接牢固,使接触电阻要尽可能小,被试的炸药柱外部用塑料限制套将其固定。SCB 冲击片起爆试验所用发火装置主要由火花开关管和储能电容组成,装置中所用发火电容器为 0.2 μF 。试验时,用高压电源向发火装置充电,采用静电电压表监测电压。

4 结果与讨论

4.1 SCB 芯片桥区多晶硅致密性及起爆试验

一般情况下,增加桥区多晶硅的厚度,可以提高等离子体的量和飞片速度。在制作 SCB 芯片时,将多晶硅的厚度增加到 10 μm ,但是,几乎不能起爆炸药,试验结果如表 1 所示。用扫描电镜对两种不同厚度 SCB 芯片的多晶硅致密性在相同的放大倍数下进行了对比观察,发现致密性有明显的差异,电镜观察照片如图 3 所示。

表 1 桥区多晶硅致密性试验结果

Table 1 Test results of the compactness of polycrystalline silicon in bridge section

size of SCB bridge section	resistance / Ω	ignition voltage/kV	experimental quantity	ignition ratio/%
0.60mm \times 0.60mm \times 10 μm	0.39	4.167	20	1
0.40mm \times 0.40mm \times 10 μm	0.3	3.429	20	0
0.35mm \times 0.35mm \times 2 μm	2.7	3.064	27	59

Note: The explosive is HNS-IV.

由表 1 看出,SCB 芯片多晶硅为 10 μm 厚时,40 发试验几乎都不能起爆 HNS-IV 炸药,通过图 3 的扫描电镜观察,10 μm 厚的多晶硅致密性非常差,电镜能谱分析重量百分比,Si 为 47%,O 为 53%。多晶硅疏松,桥区气化时所产生的等离子量不足,致使推动聚酰亚

胺飞片的速度低,不能撞击起爆炸药。而多晶硅致密性较好的芯片,其厚度虽只有 2 μm ,Si 重量百分比却为 100%,O 为 0%,可较好地起爆 HNS-IV 炸药。其主要原因是:多晶硅生长时,晶体的生长速度比较缓慢,2 μm 厚多晶硅至少需要 12 h 以上,因而致密性非常好。而 10 μm 厚的多晶硅,在制作过程中,晶体生长快,导致了致密性疏松现象。可见 SCB 芯片桥区多晶硅的致密性是影响起爆炸药的重要因素。

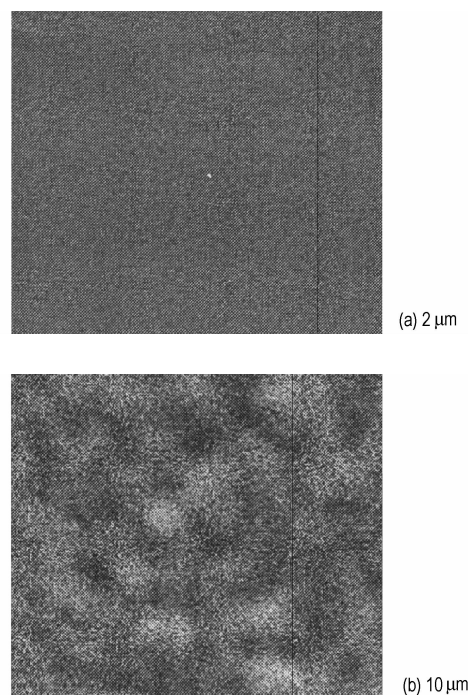


图 3 SCB 芯片桥区多晶硅致密性比较

Fig. 3 Comparison of the compactness of polycrystalline silicon in SCB chip bridge section

4.2 SCB 冲击片起爆 HNS 炸药试验

HNS 炸药进行过细化处理,平均粒径 $< 0.5 \mu\text{m}$ 。SCB 芯片桥区的多晶硅厚度分别为 2.6 ~ 4 μm 四种不同的桥区尺寸。用升降法对 HNS-IV 药柱进行 50% 起爆电压试验,试验步长为 0.1 kV,发火装置的电容为 0.2 μF ,每个试验点试验样本量不少于 20 发,将 50% 起爆电压通过 $E = \frac{1}{2} CV^2$,换算成起爆能量,其结果见图 4。

由图 4 看出,在桥区多晶硅致密性好的情况下,SCB 冲击片 50% 起爆能量随着桥区多晶硅的厚度增加而降低,其主要原因是,SCB 芯片桥区多晶硅的厚度增加,桥区汽化后产生的等离子体增加,推动飞片的速度加快,炸药易被起爆。根据爆炸箔起爆经验,估计

5~6 μm 的多晶硅厚度是起爆炸药的最佳厚度。从试验结果看出,多晶硅桥区尺寸小,50%起爆能量低,桥区尺寸变化对 50% 起爆能量有影响。

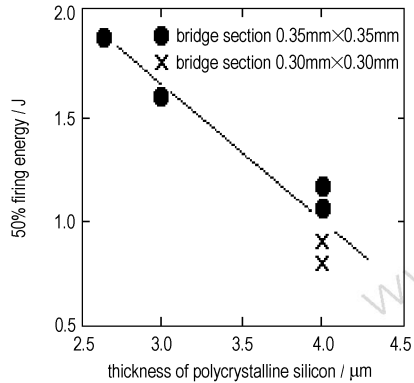


图 4 桥区多晶硅厚度对发火能量的影响

Fig. 4 Effect of the thickness of polycrystalline silicon in bridge section on firing energy

4.3 SCB 芯片爆发电流测定

利用电流环对 SCB 芯片的爆发电流进行了测定。在测试中,发火装置的电容为 0.15 μF ,用 TDS544A 示波器进行波形记录,测试了发火电压在 3.5~4.0 kV 条件下 SCB 芯片的爆发电流,测试结果如表 2 所示。

由表 2 看出,SCB 芯片在发火时其爆发电流可达 2.5~3.0 kA 以上,与爆炸箔起爆 HNS-IV 炸药所测的爆发电流值较接近^[4]。因此,对 SCB 芯片自身参数、芯片厚度、加速腔、药剂感度进行匹配、优化,可以进一步降低其发火能量向低能化发展。

表 2 SCB 芯片爆发电流测试结果

Table 2 Test results of burst current of SCB chip

sample	inductance	resistance	firing voltage	burst current
	/ μH	/ $\text{m}\Omega$	/ kV	/ kA
1	37.4	1803	4.0	3.02
2	35.9	2511	3.5	2.63
3	34.3	2313	3.5	2.76
4	49.1	582	4.0	2.54

5 结论

(1) SCB 芯片桥区多晶硅的致密性是影响起爆炸药能量的重要因素,多晶硅致密性好的芯片,能起爆 HNS-IV 炸药,并且需要的发火能量低。

(2) 严格控制多晶硅致密性,SCB 芯片多晶硅的厚度在 2~5 μm 范围内,其厚度增加,50% 发火能量降低,起爆阈值重现性好。

(3) 采用微电子工艺制作 SCB 芯片,质量一致性好,用 SCB 冲击片起爆 HNS-IV 炸药是可行的,适用于直列式起爆序列。

参考文献:

- [1] Robert Reams, Judith McCullen, Jonathan Terrell, et al. Semiconductor slapper[P]. USP 5370054, 1994. 10.
- [2] Harris S M, Bickes R W Jr, Grubelich M C. An overview of new semiconductor bridge applications[P]. DE - AC04 - 94AL85.
- [3] Robert W Bickes, Anita M Renlund. SCB Initiator[P]. US000001366H Nov. 1, 1994.
- [4] 党瑞荣, 杨振英. 桥箔爆发电流的计算与测量[J]. 火工品, 2000(2): 13 - 15.
DANG Rui-rong, YANG Zhen-ying. Initiation principles and test technique of bridge foils[J]. *Initiators and Pyrotechnics*, 2000(2): 13 - 15.

Initiation Technique of Semiconductor Bridge (SCB) Slapper

YANG Zhen-ying, YANG Shu-bin, WANG Xin-cai, YIN Zhi-nan

(The 213th Research Institute of China Ordnance Industry, Xi'an 710061, China)

Abstract: Parameters of silicon semiconductor chip and bridge section were designed and optimized. The initiation of HNS-IV explosive with SCB slapper was carried out and the factors influencing firing energy were studied. Results show that when thickness of SCB slapper with good compactness of polycrystalline silicon is 4 μm , the 50% firing energy is low, and initiation compactness is good.

Key words: applied chemistry; initiation; semiconductor slapper; firing energy; semiconductor chip