

片式薄膜爆炸箔制备及其电爆性能研究

郑国强¹ 姚艺龙² 李鸿高³

1.3 中国电子科技集团公司第四十三研究所 安徽 合肥 230088

2. 微系统安徽省重点实验室 安徽 合肥 230088

摘要: 本文通过物理气象沉积, 化学气象沉积、光刻等薄膜工艺, 制备片式薄膜爆炸箔, 实现了爆炸箔制备微电子化, 大幅提高爆炸箔可制造性, 一致性, 利于批量生产。片式薄膜爆炸箔电爆性能测试表明, 当起爆电压为2500V, 峰值电流可达到1450A, 飞片速度最快可达到3720 m/S。

关键词: 爆炸箔; 制备方法; 电爆性能

前言

现代战争环境日趋恶化, 这对武器系统的安全性、可靠性、功能性提出了更高的要求。直列式爆炸箔起爆系统突破了传统起爆器中敏感起爆药剂及松装猛炸药的限制, 换能元不与炸药直接接触, 直接起爆钝感弹药, 具备高安全性、高可靠性、耐机械冲击、抗射频、静电、杂散电流及电磁干扰等优点, 能很方便、准确地实现多次、多点同步起爆控制以及爆炸序列输出波形的控制。可以实现未来武器系统对引信提出的小型化、智能化、系统整体性能最优化的要求, 是新一代最安全、最可靠的弹药引爆控制系统, 应用于点火、起爆, 并作为切、割、推、拉等动作的动力源, 除广泛应用于导弹、火箭弹、鱼雷等武器装备外, 还大量应用于运载火箭、航天飞机等领域^[1,2]。

1965年美国的J.R Stroud提出了爆炸箔起爆系统的概念。目前已经进入自动化生产阶段, 并且被大量应用于美国的顶尖战略战术导弹当中, 使得美国的各种武器装备在世界舞台上独占鳌头。美国及欧洲各强国经过数十年的研究, 采用集成化技术实现了直列式爆炸箔起爆系统的产品的集成化、小型化设计, 已经型谱化, 能满足各种型号导弹、钝感弹药战斗部和固体火箭发动机的需求^[3]。

爆炸箔作为直列式起爆系统的核心元件, 直接制约着国内直列式起爆技术的发展。目前, 国内只有少数几个单位可自主生产爆炸箔起爆器。大部分采用采用手工粘帖对位的方法分步组装飞片层及加速腔体的组装定, 其产品一致性差、成本高, 由于火工品的不可测试性, 大幅增加爆炸箔起爆系统列装难度, 且发火能量高, 对配套电源模块要求严格, 难以大规模生产、应用于常规武器。降低生产成本、提高生产效率、降低发火能量成为爆炸箔芯片亟待解决的三大难题。

1 片式薄膜爆炸箔设计与制备

1.1 片式薄膜爆炸箔设计

爆炸箔作用原理是: 当外加电能时, 换能元发生电爆炸, 产生高温高压等离子体, 驱动飞片通过加速腔形成高速、定向撞击钝感炸药, 从而完成系统的点火、起爆等任务。片式薄膜爆炸箔采用薄膜, 采用99.6%氧化铝材料作为陶瓷基底, Cu材料作为换能源, Parylene C膜作为飞片层, Su-8 2000型光刻胶作为加速腔。将换能元、飞片层、加速腔通过薄膜工艺一体化集成, 实现爆炸箔的制程微电子化, 大幅提升产品的一致性, 提高生产效率, 降低生产成本。片式薄膜爆炸箔设计如下图所示。



图1 片式薄膜爆炸箔结构示意图

其中Parylene C膜是聚对二甲苯的一种, 通过独特的真空气相沉积工艺制备, 由活性小分子在基材表面生长出完全敷形的聚合物薄膜涂层, 可形成连续薄膜, 不像传统涂层中经常出现缺陷和填料, 具有出色的介电特性, 介电强度达到5600V/mil, 同时, 微米量级的应用, 提供优异的无针孔均匀屏障, 具有出色的防潮和化学阻隔性能, 被广泛应用于电子、汽车、航空航天、医疗等领域。但是, 其最高工作温度为100℃, 在高温环境下, Parylene C膜物理性能将发生变化, 急需寻求新的飞片材料, 提高片式薄膜爆炸箔在复杂环境下的适应能力。

选用Su-8 2000型光刻胶厚度可达到400um, 具备厚度均匀性好, 孔壁垂直度高、光洁度好、等优点, 非常匹配片式薄膜爆炸箔的制备过程及性能要求。

1.2 片式薄膜爆炸箔的制备

片式薄膜爆炸箔的制备如图2所示,具体步骤如下:

(1) 采用物理气相沉积(PVD),在洁净的2英寸99.6%氧化铝陶瓷基板上沉积WTi/Cu/Au复合金属膜作为换能元。其中WTi层作为黏附层,Cu层作为环能元层,Au层作为保护层,防止Cu层层氧化。Cu层厚度为4 μm 。

(2) 采用光刻工艺,制备爆炸箔图形阵列,光刻工艺包括甩胶、前烘、曝光、显影、腐蚀、去胶等过程

(3) 采用化学气相沉积(CVD),在复合金属膜层上沉积25 μm Parylene C膜作为聚合物飞片层。

(4) 采用物理气相沉积,在聚合物飞片层上沉积总厚度为WTi/Au复合金属膜作为金属飞片层。

(5) 采用光刻工艺,使用Su8 2000型光刻胶作为加速腔,加速腔圆孔位于爆炸箔桥区正上方,加速腔厚度为400 μm ,加速腔孔径为600 μm ;

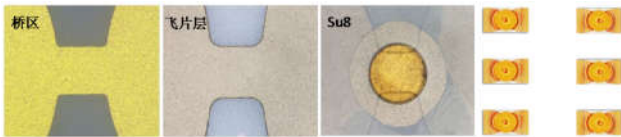


图2 爆炸箔实物图

其中,最重要的过程为加速腔的加工。Su8曝光过程中,光引发剂吸收光子发生光化学反应,生成一种强酸,而在后烘过程中,曝光区域在强酸的催化作用下,分子发生交联反应,再经不断扩展,形成致密的交联网络,这种网络不溶于显影液中,显影后形成掩模板的反图形。不同光源,不同衬底条件下,Su8胶的曝光参数都有所不同,后烘温度及时间也应根据光刻胶的厚度及曝光时间来控制,交联反应不充分,底部易产生残留,大大影响图形质量,而交联度过大,内应力增大,将较小Su8在衬底上的附着力。片式薄膜爆炸箔选用Su-8 2000型光刻胶制备加速腔,厚度达到400 μm ,这对Su8胶厚度均匀性,孔壁垂直度、光洁度、机械强度、表面平整度都有严格要求,也是制约片式薄膜爆炸箔的成品率及产能的最重要原因。

2 片式薄膜爆炸箔电爆性能研究

爆炸箔起爆装置对起爆回路要求非常严格,须尽可

能地减小回路的电感与电阻,以使储能电容中的能量能以最快的速率作用于桥箔上,提高回路的能量利用率。实验选用0.22 μF 的有机薄膜电容,按爆炸箔起爆器测试电路图连接电路,如图3所示。1600V、2000V、2500V时,随着起爆电压的增加,峰值电流不断增加,起爆时间逐渐降低。起爆电压为2500V时,峰值电流最高可达1450A。

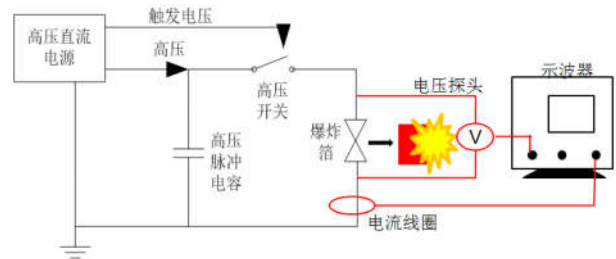


图3 爆炸箔电爆测试电路原理图

选取2000V、2500V作为起爆电压,采用南京理工大学光子多普勒测速(Photonic Doppler Velometer, PDV)系统,对片式薄膜爆炸箔起爆器的复合飞片的加速历程进行了研究,对片式爆炸箔飞片速度进行测试。当起爆电压为2000V时,飞片最高速度为3264m/S,当起爆电压为2500V时,飞片最高速度为3720 m/S。

结束语

本文针对现阶段爆炸箔起爆系统的低能化、小型化、集成化以及低成本发展需求,采用全薄膜工艺,将换能元、飞片层、加速腔一体化基础,解决爆炸箔制造难题。片式薄膜爆炸箔一致性好,制作成本低,为直列式起爆系统应用于常规武器提供一种新方案。

参考文献:

- [1] 杨智,朱朋,徐聪.微芯片爆炸箔起爆器及其平面高压开关研究进展[J].含能材料,2018.
- [2] 陈楷.集成爆炸箔起器与平面三电极高压开关技术研究[D].南京:南京理工大学,2017.
- [3] 单体强,齐杏林,范志峰.国外引信电子安全与解除保险装置研究进展_单体强[J].飞航导弹,2016.