

【理论与探索】

反铁电陶瓷材料用于引信安全系统的设想

徐粉红, 吕雅萍

(西安机电信息技术研究所, 西安 710065)

摘要:介绍了反铁电陶瓷材料这种功能材料的研究进展、性能特点和在其他方面的一些应用,提出了反铁电陶瓷材料用于引信安全系统的设想,展望了反铁电陶瓷材料在引信技术上的应用前景。

关键词:反铁电陶瓷材料;引信;安全系统

中图分类号:TJ430.1

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2008)03-0100-02

随着武器系统的不断发展,引信的发展方向也越来越多元化,其使用环境随之也在不断变化。在传统的引信设计中一般是利用力学环境来解除保险的。在某些武器系统中的力学环境和勤务处理过程中可能产生的力学环境的差异很小,利用单一的力学环境信息不能满足新形势下引信设计的需要。利用弹丸飞行过程中产生的气动热这一弹道环境来设计一道环境保险,成为提高引信安全系统的安全性及可靠性的重要途径。

安全与解除保险机构是引信安全系统的重要组成部分^[1],它的作用是保证武器系统战斗部在储存、运输等勤务处理和发射、弹道飞行过程中的安全,而在完成这个安全保险作用后,则通过发射、弹道飞行、碰击目标过程中的各种环境力,例如分离、脱落、正负向过载、离心、指令、弹上机构动作、碰撞冲击过载等等,来适时地解除引信的各级保险,使引信系统处于待发状态。在诸多的弹道环境中,可以利用弹丸飞行过程中产生的气动热来设计引信安全与解除保险机构中的一道保险。

反铁电陶瓷材料是一种特殊的功能材料,可以利用在气动热的弹道环境下,该材料在某一温度发生相变时产生电荷的原理来设计引信安全与解除保险机构中的一道保险。这样因其体积小、能量高、使引信机构得以简化,为引信的多样化设计提供了一种新的途径。

1 反铁电陶瓷材料研究的发展

1951年美国物理学家 C. Kittel 从宏观唯象理论出发提出了反铁电性的概念,并预言了反铁电体的存在及所具备的一些基本特征^[2]。20世纪60年代 B. Jaffe 和 D. Berlincourt 等人通过对 $Pb(Zr, Ti)O_3$ (PZT) 掺杂改性得到能够在室温

环境被电场诱导转变成铁电体的 $Pb(Zr, Sn, Ti)O_3$ (PZST) 反铁电化合物。以 PZST 为代表的反铁电化合物能够在通常的条件下被电场诱导转变成极化强度取向一致的铁电体,并且转变成的铁电体可以通过加热和加压等方式回复成反铁电体。反铁电材料在相变时具有大应变量和高密度电荷瞬间释放特性。与此同时,通过控制电场的大小,场诱相变还提供了可开关、可调变的介电、压电和热释电性能,并具有可逆的增强效应。因此反铁电材料成为智能传感和致动系统中的关键材料,其可能的应用领域包括有高密度储能电容器、大位移致动器、换能器和热释电探测器等。目前,已经发现约有 40 多种反铁电材料,其中钙钛矿结构的 PZT 基化合物是目前最具有应用价值的一类反铁电材料,也是当今国内外研究的热点。

2 反铁电-铁电陶瓷材料的性能及应用

2.1 反铁电-铁电陶瓷材料

PZT 基反铁电陶瓷材料是一种特殊的功能材料,反铁电体可通过极化处理转变成贮存有电能量的铁电体,使用时通过加热或加压的方式使铁电体回复成反铁电体,在这个相变过程中释放出所贮存的电能量^[3]。

在铁电体中,离子位移极化产生的电偶极子沿着相同方向排列,在材料内部形成了一个净的宏观极化强度。而在反铁电体中虽然也有离子位移极化,但是由于相邻子晶格上离子位移极化产生的电偶极子是反方向排列的,总的极化强度等于零。由于反铁电体的自由能与铁电体的自由能接近,通过施加一个足够大的电场可以把反铁电体中的电偶极子扭转至外电场方向使所有的电偶极子一致取向成为铁电体(见图1)。反之,通过加压或加热的方式可以使

* 收稿日期:2008-03-20

作者简介:徐粉红(1979—),女,陕西蒲城人,硕士研究生,主要从事机械电子工程研究。

亚稳定的铁电体恢复成反铁电体,在这个相变过程中铁电体将释放出所贮存的全部电极化能量.由于电能被释放出来,而且相变进行时间很快,这样对外界就可以输出一个大电量的电脉冲.

电场诱导反铁电转变成的铁电体处于亚稳定状态,可以通过加热的方式使铁电体恢复到反铁电体而实现热电转换^[4].在PZT基反铁电陶瓷材料体系中,诱导反铁电相与铁电相间相互转变的电场强度、温度、压力可通过调整化学组成来实现,从而满足不同工作条件的要求.图2为温度诱导铁电向反铁电转变的电流释放曲线.

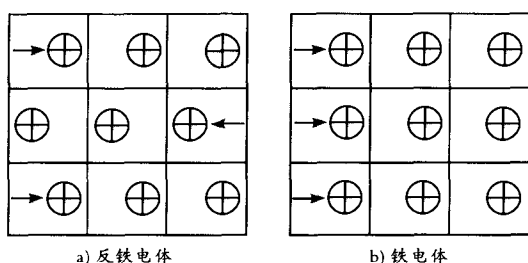


图1 铁电和反铁电体中离子自发偶极子排列方式

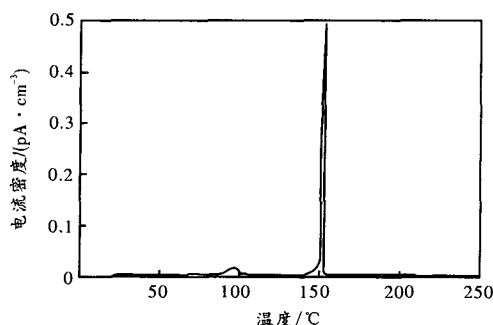


图2 温度诱导铁电向反铁电转变的电流释放曲线

2.2 应用

随着研究的深入和发展,反铁电陶瓷材料应用所涉及的领域越来越广泛,包括在电能存储、能量转换、大位移致动器等领域.目前,国外已经采用反铁电相变型脉冲电源作为中子发生器的电源用于核武器研究中.在电磁脉冲弹中,反铁电相变型脉冲电源为减少电源体积和重量,缩短待机时间提供了一种途径,其输出的电能和脉冲波形适合电磁脉冲弹的要求.反铁电相变陶瓷电容器由于具有高的介电常数和耐压能力,可以用于制作高压大容量充放电电容器.在高压调节器中,反铁电相变陶瓷可以消除尖脉冲,使电压保持在一个稳定工作电压,从而保护系统.

3 反铁电陶瓷材料应用在引信安全系统设计的可行性

由于反铁电陶瓷材料具有热电转换功能,对温度的变化非常敏感,因此这种材料可以应用到引信安全系统,来

实现引信安全与解除保险的控制.假设反铁电陶瓷材料的相变温度为120℃,在比相变温度低的多的常温状态下,该材料保持一种稳定状态.在弹丸飞行过程中,弹体与空气摩擦产生热量,经过弹体传至材料表面,当温度达到120℃时,反铁电陶瓷材料发生相变释放出电能,解除保险.120℃的相变温度,在平时勤务处理情况下是不存在的,只有在弹丸高速飞行时才会产生,这将保证勤务处理的安全.同时反铁电陶瓷材料在温度升高到相变温度时释放出电荷,信号特征比较明显,因此可以利用气动加热,为引信设计提供了一种新的思路和想法.此外,反铁电陶瓷材料本身的强度和抗冲击性能比较好,可以适应引信的工作环境.因此用这种材料制备解除引信系统的一道保险是可行的.

4 研究方法和技术路线^[5]

首先,对反铁电陶瓷材料的相变温度和释放电能进行测试.把材料置于温箱中,得出材料的电能释放密度和释放温度,分析材料的热电转换特性,同时分析材料的体积与能量的关系,以及在发射环境和弹道环境下的温度、能量与弹丸速度之间的关系.

其次,对引信安全系统中的安全与解除保险机构进行分析,在此基础上设计引信安全与解除保险机构中的电磁拔销器,根据反铁电材料的特性对电磁拔销器进行优化设计,制作出满足条件的电磁拔销器,并对电磁拔销器和反铁电材料进行综合测试,得出测试结果并验证其正确性.

最后,设计安全与解除保险机构的原理样机,通过实验室试验和靶场试验验证设计的合理性.

5 结束语

反铁电陶瓷材料的研究时间并不是很长,但其发展很快,应用日益广泛.如果将其应用到引信安全系统的设计中,不但可以适应引信不断小型化的发展趋势,还可以解决武器系统对引信的小体积、低成本、高可靠性等指标提出的更高和更全面地要求,为引信的多样化设计开辟一条新的途径.

参考文献:

- [1] 迟庆宣.形状记忆合金用于常规兵器引信保险的设想[J].四川兵工学报,1999,20(1):13-17.
- [2] 夏志国,李强.PZT基反铁电材料研究进展[J].人工晶体学报,2006,35(4):835-843.
- [3] 冯玉军,徐卓.爆电换能用反铁电材料[J].压电与声光,2005,27(2):156-159.
- [4] 冯玉军.Pb(Zr,Sn,Ti)O₃反铁电-铁电陶瓷热释电谱[J].科学通报,2000,45(1):94-97.
- [5] 王利,纪霞.形状记忆合金在引信上应用的研究[J].探测与控制学报,2006,28(6):44-46.