

信息时代的多面手——压电效应

李瑞洁 高 桦

轻轻一按煤气灶按钮,蓝色火焰迅即燃起;轻轻一按电视遥控器,精彩节目任您挑选。这就是压电效应带给您的便利。所谓压电效应,是指某些各向异性的晶体,在外力作用下产生机械形变(如压缩或伸长),从而在加压面或拉力面的两侧出现异号束缚电荷,这种现象称为正压电效应。反之,在晶体的两侧面加一交变电压,晶体就会发生厚薄的机械变化,这叫做逆压电效应。这两种效应统称为压电效应。

压电效应是居里兄弟(Jacques Curie、Pirre Curie)于1880年首先在石英晶体上发现的。除了石英这种天然压电晶体外,还可以人工合成具有压电性能的多晶体材料,即通常所说的压电陶瓷。1942年,压电陶瓷材料——钛酸钡首次在美国制成。1947年,压电陶瓷器件——钛酸钡拾音器诞生。此后,尤其是近几十年来,随着性能更加优越的压电陶瓷材料(如锆钛酸铅和近年来出现的无铅压电陶瓷)的研制成功,压电效应得到了飞速发展和广泛应用。目前,这种神奇的效应已被应用到航空航天、医学诊断、超声焊接等许多领域,以实现能量转换、传感、驱动、频率控制等功能。如用压电陶瓷可以做成各种各样的“人工耳”,用来预报地震和了解地下矿藏等。用压电陶瓷做成的触觉元件,能感知凹凸度仅10微米的表面,用它制成的超声波扫描仪,已成为一种重要的医疗诊断设备。利用压电效应制作的压电驱动器具有精确控制的功能,可用于精密仪器和机械的控制、微电子技术、生物工程等领域。

一、压电效应的物理机制及应用

压电效应是晶体在机械力作用下发生形变,从而引起带电粒子的相互位移,使晶体总的电偶极矩(极化)发生改变而造成的。因此,压电效应与极化强度有关,涉及物质的力学和电学性质的相互影响,反映了晶体的弹性性能与介电性能之间的耦合。现在我们以水晶晶体为模型,说明产生压电效应的物理学机理。

在不受压力时,水晶晶体正、负电荷中心重合,整个晶体的总电矩等于零,晶体表面无电荷(不呈压电性)。当沿某特定方向施加压力时,晶体发生形变,正、负电荷中心分离,即电偶极矩发生变化,从而

在加压面上出现电荷积累。实验表明,这种束缚电荷的电量与作用力成正比;而且电量越多,相对应的两表面电势差也越大。

压电效应的应用大致分为两大类:用压电陶瓷材料制成的压电振子(见表1)和压电换能器(见表2)。前者主要利用振子本身的谐振特性,要求压电、介电、弹性等性能稳定,机械品质因数高。后者主要是将一种能量形式转换成另一种能量形式,要求有较高的机电耦合系数和较大的介电常数。下面我们从这两方面予以介绍。

表1 压电陶瓷振子的应用

压电振子的应用	应用实例
压电振子	振荡器、谐振器、滤波器、压电耦合器
复合振子	机械滤波器
压电变压器	电视阴极射线示波管、电吸附设备中的升压装置
延迟设备	电视通信设备、计算机等所用的延迟设备

表2 压电陶瓷在换能器上的应用

测量仪器	压力计、振动计、加速度计、流量计
视声计算与测量	流速计、风速计、声速计、江面计等
空气中声学换能器	波音器、传声器、耳机、扬声器
水声换能器	超声测深仪
固体声学换能器	超声探伤厚度计、混凝土探伤、地下探矿
物理声学换能器	物理性质研究用各种换能器、超声衍射光栅
大功率超声换能器	清洗、加工、焊接排气
医用超声换能器	脑病、心脏病的诊断,胆结石的治疗等
其他	压电点火器、压电泵、马达等

二、压电振子

压电变压器 利用压电陶瓷的正压电效应和逆压电效应可以制成高性能的电源变压器。50年代就已经开始研制压电变压器,第一个压电陶瓷变压器是由美国的罗森(C. A. Rosen)在1956年提出的,它具有升高输出电压的功能。下面以伸缩振动的横纵向型变压器为例,说明变压原理。

如图1所示,整个陶瓷片分成两部分,左部为输入端(又称驱动部分),沿厚度方向极化;右部为输出端(又称发电部分),沿长度方向极化。陶瓷上的银电极分别与输入和输出电压相连接。当输入端加上

三、压电换能器

交变电压时,由于逆压电效应,瓷片产生沿长度方向的伸缩振动,将输入电能转变为机械能;而发电部分则通过正压电效应,将机械能转变为电能,从输出端输出电压。由于压电陶瓷发电部分的长度大于驱动部分的厚度,输入阻抗远大于输出阻抗,因而输出电压大于输入电压,成为升压变压器。这种结构的变压器在数伏或数十伏的输入电压下,可以获得数千伏的电压。

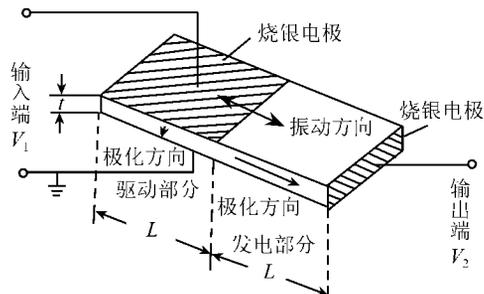


图1

与电磁式变压器相比,压电陶瓷变压器具有以下独特优点:小型薄片型结构;重量轻、体积小、结构简单,易实现小型化及批量生产;器件耐高温、不可燃、不怕短路,对外界无电磁污染;输出电压高。

压电变压器主要用于 CCFL 驱动器和 DC - DC (直流 - 直流) 变压器;此外,压电变压器还被应用于军事,即利用其输出电极引线尖端放电引爆高压雷管。民用方面如霓虹灯、高压防盗器、高压电击棒、小型 X 光机、雷达、复印机、电视机、负离子发生器、液晶显示器、静电除尘器、小功率激光管和高压电源等。最近,美国正在开发汽车安全保护气囊用的压电陶瓷变压器。小型灵巧的压电陶瓷降压变压器在计算机、手机、摄像机等的 AC - DC (交流 - 直流) 适配器中有着广阔的应用前景,可以减小 AC - DC 适配器的体积,甚至可以去掉外接适配器,直接进入电子设备中。

谐振器、滤波器 谐振器、滤波器等频率控制装置,是决定通信设备性能的关键器件,压电陶瓷在这方面具有明显的优越性。它具有极高的频率稳定性,这种稳定不变的振动正是无线电技术中控制频率所必需的,特别是在多路通信设备中能提高抗干扰性,使以往的电磁设备面临被淘汰的命运。彩色电视机等许多电器设备中都有用压电晶片制作的滤波器,保证了图像和声音的清晰度。石英电子表中的核心部件——石英振子,保证了石英表比机械表具有更高的准确度。

在能量转换方面,压电效应的应用范围比压电振子更广泛。目前已应用于遥测和遥控系统,如遥控电视频道开关系统、停车时间记录器的自动控制系统等等。具体应用实例主要有压电点火器,压电超声换能器,压电地震仪,压电陶瓷蜂鸣器,压电振动加速计,压电陶瓷拾音器、发声器,超声马达等。

压电点火器 点火器种类繁多,目前流行的一次性塑料打火机,有相当一部分是采用压电陶瓷器件来打火的。现以家用灶具压电点火器为例说明它的结构和工作原理。如图 2 所示,转动凸轮开关 1,利用凸轮凸出部分推动冲击块 3,并压缩冲击块后面的弹簧 2。当凸轮凸出部分脱离冲击块后。由于弹簧弹力作用,冲击块给陶瓷压电元件 4 一个冲击力,便在压电元件两端产生高压,并从中间电极 5 输出高压,产生电火花点燃气体。

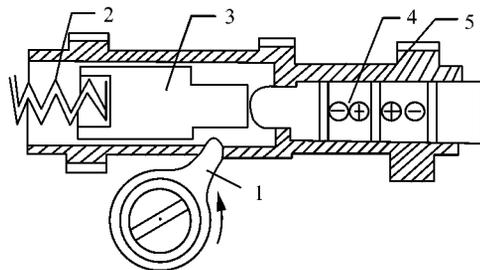


图2

压电超声换能器 压电超声换能器是水下发射和接收超声波的水声器件,用压电陶瓷把电能转换成超声振动,可以用来探寻水下鱼群的位置和形状。在工业中还被广泛用于超声清洗、超声加湿和超声无损探伤等。还可以做成各种超声切割器、焊接装置及烙铁,对塑料甚至金属进行精密加工。

压电地震仪 压电陶瓷可以将极其微弱的机械振动转换成电信号。地震是毁灭性的灾害,由于人类对震源的细微振动不能感知,以前很难监测。压电陶瓷对外力的敏感使它甚至可以感应到十几米外飞虫拍打翅膀对空气的扰动,用它制作的压电地震仪,能精确地测出地震强度,指示出地震的方位和距离,从而预测地震,减少损失。

压电陶瓷蜂鸣器 它具有音响清晰、厚度薄、重量轻、耗电省、寿命长、价格低廉等优点,广泛用于各种自动控制系统、电子仪器仪表、电子计算机(器)的音响或报警等,还可用于电子手表、电子闹钟、儿童玩具、汽车转向、倒车等音响或报警等,也可用来制

管窥物理学中的聚焦现象

汤 洁

无论是我们日常生活中所用的照相机,还是观察天体运动的望远镜及探测微观世界的显微镜,它们内部都含有一个重要的组成部分——聚焦系统。在物理学中,常见的聚焦现象有三种形式:光聚焦、静电聚焦和磁聚焦。

光聚焦

当把物体放在凹面镜焦点以外时,根据光的反射原理,会得到一个倒立的实像;如果把几束跟主轴平行的光线照射到凹面镜上,经过反射,这些光线都将通过其焦点 F ,如图 1 所示。对于凸透镜,则是利用光的折射原理对光线起到会聚作用,平行于主轴的光线经过凸透镜后会聚于主轴的焦点 F ,如图 2 所示;当把物体放在凸透镜的焦点以外时,会在凸透镜的另一侧通过折射光线的会聚得到一个倒立的实像。这就是凹面镜和凸透镜对光线的聚焦作用。

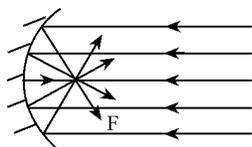


图 1

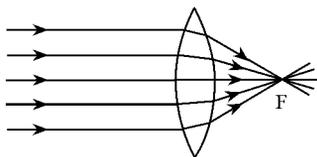


图 2

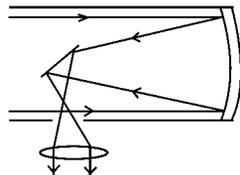


图 3

是,物镜的焦距长而目镜的焦距短。英国物理学家牛顿根据凹面镜对光线的会聚作用,于 1668 年发明了反射望远镜。他用一面很大的凹面镜代替物镜,来自遥远天体的平行光线,经凹面镜反射后,向焦点会聚,这些反射光线又被一面小平面镜反射会聚成实像,所成的实像再被旁侧的目镜放大(图 3 所示)。反射望远镜有很多优点,其中之一就是可以制成大口径的物镜,使更多的光线进入目镜,成像更明亮、更清楚。因此,世界上的大型天文望远镜都是反射望远镜,有的反射望远镜物镜的口径在 5 米以上。这两种望远镜的发明,为人类探索天体运动的奥秘拓展了广阔的视野和空间。

根据凸透镜对光的聚焦作用,德国天文学家开普勒于 1611 年发明了天文望远镜,它主要由两组凸透镜构成,一组充当物镜、另一组充当目镜,不同的

在微观世界的探测方面,依据透镜的聚焦作用制成了光学显微镜。光学显微镜使我们能够看清 $0.1 \sim 0.2$ 微米的结构,可以观察细胞的构造。图 4

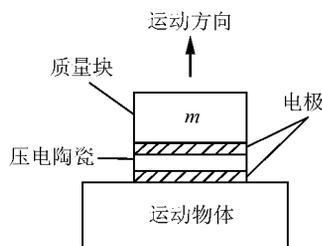


图 3

作对话机、电话等。

压电振动加速计

压电加速度计是一种重要的计测仪器。图 3 是其示意图:当被测物体加速度运动时,放在上面的质量为 m 的质量块对中间夹的压电陶瓷片产生压力 F ,由于压电效应,在陶瓷片的上下电极有电压输出,此电压与应力成正比,而应力又与加速度(即被测物体的加速度)成正比,因而可以测得的输出电压、求得运动物体的加速度。

压电陶瓷拾音器、发声器 压电晶体还广泛应用于电声设备,实现声音的再现、记录和传送。如压电陶瓷拾音器、扬声器等都是利用压电陶瓷的换能性质(机械能转变为电能或反过来)研制的。晶体耳机和晶体扬声器是压电发声器件,它们是利用压电

晶体的逆效应制作出来的,即把变化的电信号还原为晶体的机械振动,晶体再把这种振动传给一块金属薄片发出声音。晶体话筒是拾音器件,它是利用晶体的压电效应制作出来的。声波使话筒内的压电晶体薄片振动,由于正压电效应,表面的两端电极上便出现微弱的音频电压。

超声马达 超声马达是利用压电陶瓷的逆压电效应和电致伸缩效应,直接把电能转换为机械能的新型微电机。它与电磁马达相比有结构简单、响应速度快、轻巧、转矩大、功耗小,对磁场和放射线的抗干扰能力强等优点。日本是超声马达研究最为活跃的国家,目前超声马达已被大量用于其照相机的自动调焦,美、德也在加紧进行这项研究,并将其应用于精密机械行业及高科技领域中。

压电陶瓷上至航天飞行、下至家庭生活,应用极其广泛。压电陶瓷器件也将更好地为我们创造美好生活。(北京华北电力大学数理系 102206)