

新型压电单晶与 电声换能技术的发展

中国科学院上海硅酸盐研究所 罗豪甦 许桂生 王评初 殷庆瑞 殷之文

弛豫铁电单晶 PMNT 具有优异的压电性能,它可以替代传统的压电陶瓷,在声呐探测、超声成像、高应变驱动器等方面得到广泛的应用。我们已经成功地生长出了尺寸为 $\phi 40 \times 80\text{mm}$ 的 PMNT 单晶,其主要性能为,压电系数 $d_{33} > 3000\text{pC/N}$,介电常数 $\epsilon \sim 5000$,损耗 $\tan\delta < 0.9\%$,纵向长度伸缩机电耦合 $k_{33} \sim 94\%$,厚度伸缩机电耦合 $kt \sim 62\%$ 。我们成功地制备出了在电声成像系统中的 PMNT 单晶压电换能器,使探测器的电声信号幅度有显著提高,充分显示了新型压电单晶在电声换能技术中具有巨大的应用前景。

压电材料的重大突破

美国著名的《科学》杂志在 1997 年 3 月介绍了材料科学领域的一项重大突破,美国宾州大学在实验室成功地研制出了新型压电单晶材料——弛豫铁电单晶 $b(\text{Zn}1/3\text{Nb}2/3)\text{O}_3 - (1-x)\text{PbTiO}_3$, 略为 PZNT 和 $x\text{Pb}(\text{Mg}1/3\text{Nb}2/3)\text{O}_3 - (1-x)\text{PbTiO}_3$, 略为 PM-NT, 其压电系数 d_{33} 、机电耦合系数 k_{33} 比通常为 600pC/N 和 70% 左右的 PZT 压电陶瓷要高出许多,分别达到 2000pC/N 和 92% 以上,其应变量比通常所用的压电陶瓷高出 10 倍以上,达到了 1.7%。可以预料压电单晶的优异性能,使得它可以替代传统的压电陶瓷,在声呐探测、超声成像、高应变驱动器等电声转化器件上得到广泛的应用。

由于弛豫铁电单晶具有优异的压电性能,它将使超声成像、声呐、驱动器等高技术器件的性能有重大提高。弛豫铁电单晶作探头的 B 型扫描超声波图像仪(B 超),将使其图像分辨率和频带宽度大大提高,而成为新一代的 B 超器件。根据美国国防部的估算,仅医用超声成像市场每年就有 20 亿美元的市场,其中

弛豫铁电单晶每年有大于 2000 万美元的潜在市场。

弛豫铁电单晶在电声换能技术领域有着非常广泛的应用前景,包括海洋勘探、以及海军的监视、战术、巡航,水下武器和跟踪潜水人员的各种声呐特征声信号控制,军用和民用飞机的螺旋桨和方向舵控制,听觉噪声和抑制等。新型压电单晶在声呐探测中的应用,将使水下探测距离延伸到更远的地方,并可以使图像的分辨率大大提高,这对鱼群探测、以及海军国防建设有非常重要的意义。

为此,1997 年 5 月 14-16 日美国海军研究办公室(ONR)举行了压电单晶发展计划研讨会,大力度资助了有关新型压电单晶的研究项目。1998 年 7 月 29-31 日美国国防尖端研究项目署(DARPA)举行了压电单晶研究队伍组织的研讨会,连续第二年大力度地资助了多个研究项目。他们的目标是:建立新的压电晶体生产方法,研究压电单晶的微观性能机理,优化单晶的组分、性能和加工。首先在实验室规模上确认压电单晶的制备方法和应用性能,然后在 2-3 年内建立新型压电单晶的规模化生长方法。另外他们还

选择了直升机螺旋桨机叶和羽翼形状的控制、海军的声呐系统等实际的器件应用项目加以支持,以表明新型压电单晶可以代替原有的压电陶瓷,大大提高相关电声转换器件的性能。

新型压电单晶的研究

新型压电单晶 PZNT 和 PMNT 具有复合钙钛矿结构,它们是由 $A(A1B_2)O_3$ 和 $PbTiO_3$ 所形成的固溶体单晶。其组成复杂,晶体生长时容易偏离化学计量,并且容易形成多种焦绿石相,单晶生长比较困难。虽然目前世界上已经有人用助溶剂方法在实验室制备出了 PMNT 和 PZNT 单晶,但是该方法还不能够用来规模化地生长大尺寸的弛豫铁电单晶,满足不了超声成像及高应变驱动器等应用方面的要求。

国内除了我们所之外,还没有见到其他单位有关于弛豫铁电单晶生长方面的研究报导。我们利用本所十多年来在铁电体陶瓷制备,以及晶体生长技术方面的研究积累,于 1996 年开始在国际上率先用 Bridgman 方法生长 PMNT 单晶,并获得初步成功。此后,有

美国 Rockwell 科学中心、斯坦福大学材料研究中心等机构也都开展了融熔法生长 PMNT 单晶的研究工作。通过三年来的研究结果表明,我们用 Bridgman 方法生长 PMNT 单晶是可行的,在大尺寸、定向生长、规模化等方面比溶剂法具有明显的优势。现在,我们生长的 PMNT 单晶的尺寸已经达到了 $\varphi 40 \times 80\text{mm}$,其压电系数 d_{33} 最高可以 $> 3000\text{pC/N}$,介电常数 $\epsilon \sim 5000$,纵向长度伸缩机电耦合 $k_{33} \sim 93\%$,厚度伸缩机电耦合 $k_t \sim 62\%$,损耗 $\tan\delta < 1\%$ 。这一研究成果已处于国际领先水平,引起了国外同行的关注。

和常用压电材料相比较,我们所生长的 PMNT 单晶的介电、压电、弹性性能具有明显的优越性能(参见下表 1 和 2)

上述结果表明,我们现在生长的 PMNT 单晶可以应用于声呐等多种电声换能和驱动器中。我们希望通过进一步深入的研究,生长出均匀性、重复性和一致性更加优异、尺寸更大的 PMNT 单晶,以便在各种电声换能和高应变驱动器中都能得到应用。

表 1 常用压电单晶和弛豫铁电单晶 PZNT 和 PMNT 单晶的比较(1)

Main use		Ultrasonic		Medical	PZN - 8%	PMN - 33%	
		Sonar	Actuator	Ultrasonic	PT	PT	
		Humidifier		Detector	Single Crystal	Single Crystal	
Coupling Factors	$\times 10^{-2}$	k_p	55	56	6		
		k_{31}	28	32	6		
		k_{33}	62	62	47.1	94	94
		k_t	46	43	43		61
		k_{15}	60	47	*		
Frequency Constants	Hz m	N_p	2240	2030	2800		
		N_{31}	1660	1450	2150		620
		N_{33}	1550	1400	2150		1350
		N_t	2110	1940	2250	1401	2020
		N_{15}	900	960	*		
Dielectric Constants	T_{11}^T/ϵ_0		1600 ± 350	4700 ± 500	*		
		T_{33}^T/ϵ_0	1300 ± 200	6300 ± 630	220 ± 20	4200	5000
Piezoelectr		D_{31}	-130	-300	-4.7	-950	
Ic charge Constants	PC/N	D_{33}	260	600	58.2	2070	2200
		D_{15}	550	1400	*		

表 2 常用压电单晶和弛豫铁电单晶 PZNT 和 PMNT 单晶的比较(2)

Main use	Ultrasonic			Medical	PZN - 8%	PMN - 33%
	Sonar	Actuator	Ultrasonic	PT	PT Single	PT Single
	Humidifier		Detector	Crystal	Crystal	Crystal
Piezoelectric	$\times 10^{-3}$	G_{31}	-11	-5.6	-2.4	-17.65
Voltage	V_m/N	G_{33}	22.5	11	30.3	38.48
Constants		G_{15}	46	43	43	17.45
Youngs	$\times 10^{10}$	Y_{11}^E	7.3	6.4	13.9	4.0
Modulus	N/m^2	Y_{33}^E	6.9	6.0	14.4	0.9
		Y_{55}^E	2.2	2.7	*	1.8
Poisson's Ratio		σ	0.38	0.34	0.2	0.2
Mechanical		Q_m	900 ± 300	20 ± 10	1450 ± 400	39.5
Dissipation Factor		$\tan\delta$	0.7	5.2	1.5	0.017
Curie Point	$^{\circ}C$	T_c	300	140	310	170
Density	$\times 10^3 kg/m^3$	P	7.6	7.7	7.4	8.1
Temperature	$^{\circ}C$	-20 - 20 $^{\circ}C$	3000	7500	2550	
Coefficient	(ppm/ $^{\circ}C$)	20 - 60 $^{\circ}C$	5500	11000	4000	

新型压电单晶的主要应用

我们进行了 PMNT 压电单晶换能器在电声成像系统中的应用研究。图 1 是电声显微成像系统中检测由电子束流激发样品声信号的压电换能器结构示意图。

表 3 是 PMNT 压电单晶和以往使用的 PZT 压电陶瓷的性能比较。从表 3 可以看出 PMNT 压电 d_{31} 和 g_{31} 是

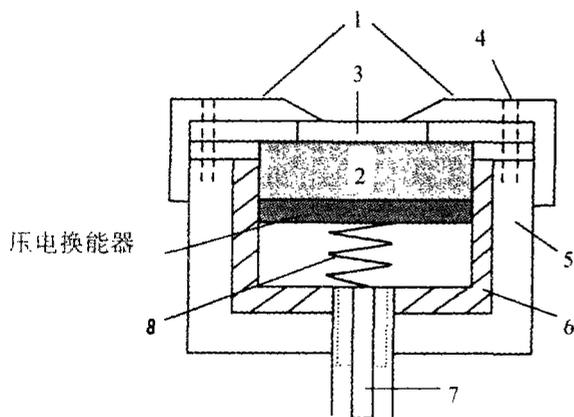


图 1 电声显微成像系统中样品和压电陶瓷换能器结构示意图

PZT 压电陶瓷材料的 2~3 倍，并且介电和机械损耗小于 PZT 压电陶瓷。利用 PMNT 压电单晶和 PZT 压电陶瓷分别对 BaTiO₃、Al 和 PZNZT 压电陶瓷分别进行了电声成像研究，结果如图 2 所示 BaTiO₃ 的电声信号。

以上电声成像研究结果表明，PMNT 压电单晶作为电声信号的探测器，电声像的分辨率明显提高。从 PMNT 和 PZT 的 g_{31} 系数和 BaTiO₃/Al 在 AB 线上的电声信号幅度比来看，用 PMNT 获得高质量电声像的原因主要是由于 PMNT 压电单晶具有高 g_{31} 系数的缘故，所以，PMNT 在电声成像应用以及其他声成像方面有很大的应用潜力。

压电单晶的高应变、高电荷输出、高机电耦合性能必将引起电声换能器件的突破性发展，新型压电单晶在军事和民用上都有着非常广泛的应用前景。诸如海军所用的监视、战术、巡航，水下武器和跟踪潜水人员的各种声呐特征声信号控制，军用和民用飞机螺旋桨和方向舵控制，听觉噪声的抑制，战场便携式医用超声诊断和手术器件，机械工具的控制等。

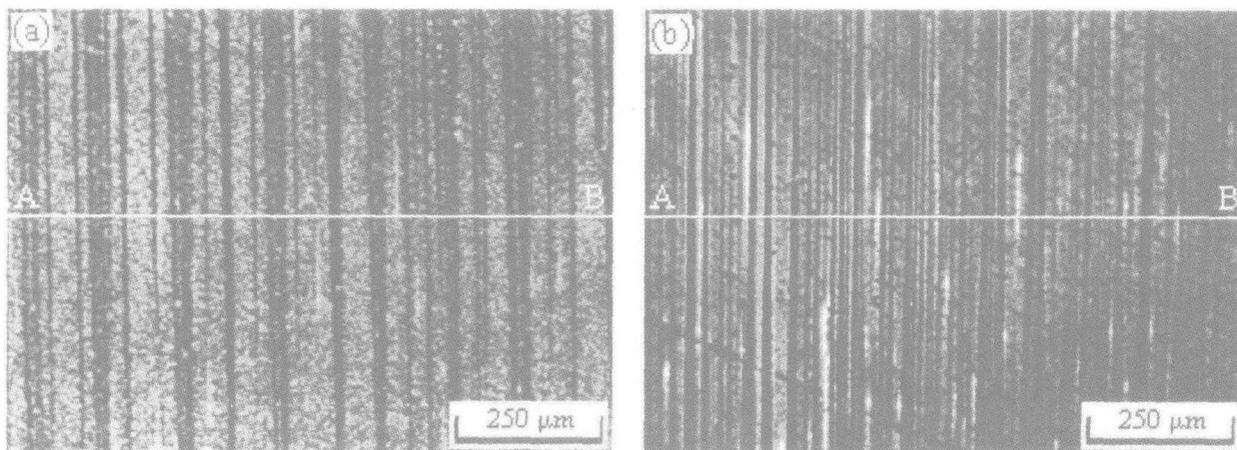


图2 BaTiO₃电畴的电声像(a)PZT detector at $f = 142.6 \text{ KHz}$, $V = 30 \text{ KV}$;
(b)PMN-PT detector at $f = 145.3 \text{ KHz}$, $V = 25 \text{ KV}$

表3 电声成像研究中使用的PMNT压电单晶和PZT压电陶瓷的性能

	PMNT crystal	PZT-type ceramics
d_{31} pc/N	-850	-270
ϵ_{33}^T	4200	3200
g_{31} pc/N	-0.203	-0.085
$\tan\delta$ (1kHz)	0.0018	0.018
Q_m	150	50

现举几例来说明:

1. 医用B超探头: 新型压电单晶高的机电耦合系数可以大大增加B超频带宽度, 大大增加图像的分辨率。

2. 声呐、鱼雷制导超声换能器: 新型压电单晶可使重量减轻, 性能大幅提高。

3. 炮弹引信: 由于新型压电单晶的压电常数大, 产生的电荷多, 因而放电能量大。

4. 飞机方向舵、机翼后沿等部件的驱动: 新型压电单晶的形变大, 响应快, 可保证驱动更有效。

5. 飞机、火箭、船舶、雷达等所用的测量与控制陀螺及加速度计: 新型压电单晶有很大的压电常数, 可使陀螺及加速度计灵敏度提高。

6. 前线指挥部、飞机舱等处的主动降噪等系统: 用压电材料发出声波抵消噪声, 新型压电单晶将使收、发声元件更灵敏、更有效。

我们应该及早开展新型压电单晶在电声转换和高

应变驱动器方面的研究, 发展下一代高性能的声呐等高技术。建议把本材料及相关的器件列入我国的高技术发展计划, 并选择关键实用目标尽早实施。使我国能够在弛豫铁电单晶材料的制备研究方面走在世界的前列, 并带动我国在相关高技术器件的创新和发展。

美国等西方国家非常重视新型压电单晶在军事高技术方面的应用前景, 近一

到二年时间内, 已经部署了相关压电单晶在声呐和驱动器方面的应用研究。由于许多电声转换及高应变驱动器的器件技术已基本成熟, 只要换上压电性能比传统的压电陶瓷更好得多的新型压电单晶, 许多涉及电声转换和高应变驱动器等压电器件的性能将会有大大提高。例如新型压电单晶在声呐系统中的应用, 将使其探测距离成倍地延伸, 这将使海军舰只在更大距离范围内取得海上作战的主动权, 提高了战术威慑力量。由于美国正在投入大量的资金进行弛豫铁电单晶的研究, 我们估计他们也会很快会制备出大尺寸质量的压电单晶, 使他们在新的军事高技术发展中处于领先的地位。

对新型压电单晶在电声换能器件方面的应用应该引起我们国家重视, 我们希望有关方面能够注意到目前功能材料领域的重大突破, 能够充分注意到新型压电单晶在电声换能器件应用上的巨大价值, 能够利用和发挥我国在新型压电单晶研究中处于国际领先的优势, 大力发展声呐和相关器件的研究。

研究方向和发展目标

有关新型压电单晶在高技术军事领域的应用,我们认为应该分成二大部分进行研究实施。

1. 生长出能够实际应用于各种电声换能器件和高应变驱动器的大尺寸、高质量的新型压电单晶。

虽然我们已经在新型压电单晶的研究中取得了在国际上领先的结果,但是对压电单晶在军事上的实际应用还需要进行一些研究,如彻底解决生长新型压电单晶的均匀性、重复性、一致性的问题,以实现新型压电单晶的规模化生长;对于不同应用的器件,需要制定不同的材料质量标准的问题。我们希望能够在“十五”期间完成这一工作,使新型压电单晶能够尽早在超声成像、声呐等高技术领域中得到广泛的应用。

2. 开展新型压电单晶的器件物理研究,开发出高性能的声呐和多种高应变驱动器。

利用我们在材料研究方面的成果,进行声呐、高应变驱动器的研究。进行器件设计研究,解决在应用中所涉及的温度范围内器件性能的线性化问题,材料内部能量损耗的问题,高温下的器件灵敏度问题的研究,及早开发出高性能的声呐器件和高应变驱动器的器件。

我们应该开展新型压电单晶在电声换能高技术中的各种器件应用的研究,首先可以发展各种声呐系统,及各种微位移器和高应变驱动器。

我们希望有关专家能够注意到目前功能材料领域中的重大突破,能够充分注意到新型压电单晶在电声换能器件应用上的巨大价值,能够利用和发挥我们所在新型压电单晶 PMNT 的研究中处于国际领先的优势,大力发展相关的器件技术。希望国家有关部门组织新型压电单晶在各种电声换能器件和高应变驱动器中应用的研究,推动我国相关高技术器件的创新和发展。CEM

几款电脑 + DVD 产品

飞利浦公司推出的多功能家庭影院接收机 DVX 8000 是世界上第一款整合 A/V 前级放大/调谐器以及具有 DVD 播放功能电脑的产品。这款飞利浦的创新产品中就内置了一台整合电脑,芯片采用的是 MMX233 处理器,带有 32M 内存、3.1G 的硬盘、3.5" 软驱以及一个 33.6Kbps 的 modem,有点象低端的笔记本电脑配置,所配置的 DVD 驱动器能够播放各种 DVD-ROM 和 CD 碟片。

DVX8000 具有 6 个模拟输入端口以及 3 个数字输入端子(射频、同轴和光纤),此外还具有两个复合视频输出端子和两个 S 端子接口,另外在前置面板上也具有 AV 输入端子。并且具有一个 DB-15 的 SVGA 端子,用户通过其连接到投影机或者显示器上。环绕音效 5.1 声道输出端子当然也少不了。另外该机器还具备电脑接口,其中包括两个 USB 接口,能够通过其连接到打印机和扫描仪上。在前置面板上还有一个游戏杆端子,此外还有一个 Modem Phone 接口,也可以安装一个电视卡,这样就能够用电脑来收看电视节目了。

日本 Sotec 公司推出了 AFiNA AV 系列 PC 音响系统。该产品是该公司与健伍公司共同开发的品种,其特点是音乐编辑及影视编辑与健伍制造的高性能扬声器相配套。在该产品中采用了可以自然补偿由于进行 MP3 格式的数据压缩而丢失的高音区域的“Supreme”技术。MP3 编码引擎也采用了健伍开发的最新版本,可以制作高品质的 MP3 音频数据。

台湾一家家电公司推出了安装 5.1 声道扬声器的“EUPA”系列 PC。该系列产品设计采用了将液晶显示器和扬声器一体化设计的概念。附带的扬声器采用了具备辅助低音的 5.1 声道系统。

新加坡创新科技公司 (Creative) 推出的“All In One”PC 音响系统“Cambridge Desk Top Theater Play Works 3500”是该公司桌面影院 (Desk Top Theater) 系列的一款新产品,其中集成了对应杜比数码、杜比 Prologic 放大器(配备光/同轴数码输入)和 5.1 通道扬声器系统,可以播放 DVD 和 MP3。

(子荫)