



严济慈先生
1927—1938年间的
53篇论文

严济慈与压电效应

言 理

严济慈先生是中国现代物理学研究的开创人之一。他在压电晶体学、光谱学、地球物理学等诸多方面进行了卓有成效的工作,取得了许多重要的研究成果。

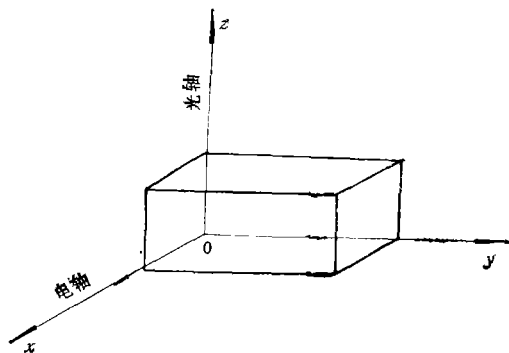
压电晶体学是严济慈早年从事的研究工作。他对石英的压电效应及其反效应作了深入的研究和测量。在科学出版社1986年出版的《严济慈科学论文集》中,共收集了他在1927—1938年间的53篇论文,其中有17篇是论述石英在电场作用下的伸缩、光学性能的改变,空心 and 实心石英柱被扭曲起电和振荡现象的内容。从这些论文中可以看出严济慈对压电效应研究的独创性和精确性。

压电效应是1880年法国著名物理学家比埃尔·居里和他的哥哥雅克·居里在研究热电效应时发现的新奇现象。他们发现当石英晶体受到压力或拉力时,它的某些表面上会出现数量相等、符号相反的电。电荷量和压力成正比,这种现象称为压电效应。比埃尔·居里从晶体和各种物理现象因果之间的对称关系出发,提出了居里对称原则的设想。他认为若在石英片的两面加上电场,石英也将缩短或拉长,即晶体压电效应的反现象。比埃尔·居里的老师李普曼认为,从理论上讲,晶体压电效应及其逆效应都应存在,而且两个系数互为倒数。他们做了一些简单的实验,证实了他们的预言。压电效应的存在是毫无疑问的了,但要取得石英片通电后产生形变的定量的实验数据,却是极其困难的。因为石英片在电场影响下减薄或增厚,这一变化非常微小,只有一个厘米的百万分之一,千万分之一或万万分之一。由于当时条件的限制,这一棘手难题被搁置下来。直到四十年后,年青的中国学者严济慈对石英的压电效应及反效应进行了深入研究和精确测量,才解决了上述疑难问题。

1925年刚到巴黎大学的严济慈仅用一年时间,就同时考取巴黎大学微积分学、理论力学、普通物理学三张文凭,获得数理教学硕士学位。这一优异成绩使主讲教授、著名物理学家夏尔·法布里对这位中国学生十分器重,就接受他为自己的研究生。

法布里教授为严济慈选择了“石英在电场下的形变”这个难度很大的研究课题。当时皮埃尔·居里已逝世多年,法布里是居里夫妇的挚友,都是巴黎大学的教授。法布里实验室和居里夫人实验室有着密切的学术往来。比埃尔·居里的夫人玛丽·居里对严济慈的这项研究非常支持,把比埃尔·居里当年用过的石英晶体样品借给了严济慈。著名的法国物理学家保罗·朗之万对严济慈也非常赏识,给予了许多指导和帮助。

在短短的一年半时间里,严济慈对石英的压电效应及其逆效应做了大量的实验工作,进行了深入的测量和研究。他是观测石英在电场中产生形变并对其做精确测量的第一个人。他利用单色光的干涉现象精确测量了石英在电场中厚薄的变化,进行了细致的数据分析。严济慈发现:在垂直于电轴的面上施加电压,当电压不高时,晶片形变量与静电场的强度成正比;若电压增大到一定值以后,形变与电场强度的关系偏离线性;当电压达到16万伏时,形变渐趋饱和。在垂直于光轴的面上施加电压,石英晶片厚度的变化极为微小,与绝缘体无异。实验中他还观察到石英在电场中的形变是瞬时的,无滞后现象。严济慈在研究石英的光学性质时,发现(见下图)在垂直于电轴方向的石英晶面上(即ZOY平面)施加正电压,则在X方向的双折射增大,而Y方向双折射却减小;如果所施加的电压



图

反向,则结果相反。

严济慈在大量实验的基础上,总结出石英晶体的压电效应及其反效应具有各向异性,饱和现象及瞬时性等特性,扩充、发展了压电理论,把压电理论推向了一个新阶段。石英晶体产生压电效应的原因是,石英受压发生形变时,其晶格中正负离子的相对位移导致晶体发生宏观极化,而晶体表面电荷密度等于极化强度在表面法线上的投影;反之,在外电场作用下,石英晶格正负离子的相对位移引起了形变,其大小与电场成正比,并与电场方向有关。外电场 E 和石英晶体的极化强度 P 都是向量,一般用 E_i 和 $P_i, i=1, 2, 3$ 来表示它们在直角坐标系三个轴上的投影。石英晶体的应变 S 是个二阶对称张量,只有六个独立分量 $S_\alpha, \alpha=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 。前三个分量是纵应变分量,后三个是切应变分量。当形变不太大时压电效应及其反效应为线性,可以用

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \sum_{\alpha=1}^6 e_{i\alpha} S_\alpha \\ S_\alpha &= \sum_{i=1}^3 d_{i\alpha} E_i \end{aligned} \right\} \begin{cases} i=1, 2, 3; \\ \alpha=1, 2, 3, 4, 5, 6 \end{cases}$$

来描述压电效应及其反效应。 $e_{i\alpha}$ 为压电应力系数(即压电系数); $d_{i\alpha}$ 为压电应变系数(即逆压电系数); e 和 d 都是三阶张量。经过严济慈和其它物理学家的努力,终于证实: e 和 d 不是互相独立的,它们的分量通过晶体的弹性系数联系起来。从此,压电理论经过不断地完善、充实,发展成为当今的成熟理论。

1927年,夏尔·法布里教授当选为法国科学院新院士。他在就职仪式上宣读了他的得意门生——严济慈的博士论文,以此作为他院士生活的开端。第二天,巴黎晨报第一版刊登了“新院士法布里教授和中国学者严济慈”的照片和报导,使严济慈名声大振。原不相识的画家徐悲鸿以敬慕之情特地为他画像并题字“科学之光。为我亲爱的朋友严济慈而素描。徐悲鸿, 1927”。从此,严济慈与徐悲鸿成为好友。

压电效应的不断深入研究,拓宽了人们的视野。从石英逆压电效应,人们联想到产生振荡的可能性。把石英晶体放在一个变电场中,在逆压电效应的情况下,晶体产生伸缩。当电场频率与石英的自身频率相吻合时,就会发生共振现象。第一次世界大战期间,物理学家保罗·朗之万根据这一思想制成了反潜艇侦察仪,也就是最初的声纳。他在石英晶片两端加上交流电,晶片按照交流电的节奏一伸一缩地振动起来。由振动产生的声波在水中传播,遇到潜水艇就反射回来。只要知道声波来回的时间,便能知道潜水艇的距离和方位。自此,朗之万的研究成果使压电效应在军事上得到了应用。

严济慈从法国回国后,负责筹建了北平研究院物

理研究所和镭学研究所,担任了两所的所长,但仍未间断对石英晶体的研究工作。他潜心研究石英圆柱体受扭曲而起电的现象。他在沿光轴做成的实心 and 空心两种圆柱体上施加扭转力,测量了空心石英圆柱体的长短,内外半径,扭力和所产生电荷量的定量关系,进而又把这项研究推广到扭转压电的振荡现象。他用共振法检测了电振荡频率与石英晶片大小、取向、形状的关系。严济慈发现只要空心石英圆柱内径与外径之比接近 $1/2$ 时,电振荡频率非常稳定,随温度的变化率仅为 $0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,即事实上可以不考虑温度的影响。因此空心石英圆柱体非常适合用来制成温度系数为零的各种振荡频率的稳频器。

严济慈对石英晶体电振荡的研究引起了人们的关注,各方面都非常重视用石英晶体制作稳频器的应用。巴黎广播电台首先用严济慈制作的石英振荡片实现了无线电播音中的稳频,随后各国相继采用,使无线广播振荡电磁回路稳频成为压电晶体的最重要应用之一。

日寇占领北平后,严济慈主持北平研究院迁往大后方——昆明。在极其艰苦的条件下,他们仍然坚持石英晶体的研究和水晶振荡片的生产,保证了我国和国际上反对德、意、日法西斯在通讯和军事上的需要。为此,抗日战争胜利后,严济慈荣获了胜利勋章(在科技界获得这种荣誉的只有两人)。

严济慈先生的科学成就不仅限于压电晶体学方面,他的贡献也不仅是学术上的贡献。他作为一名科学家、教育家,为人民的科学技术及教育事业做出了极大的贡献。

在居里兄弟发现压电效应 110 周年之际,回顾严济慈先生 20—30 年代对压电效应所做的大量精细研究,以表示我们对严济慈先生九十寿辰的衷心祝贺。

· 书评 ·

爱因斯坦与你我交谈

52 年前,由著名物理学家 A. 爱因斯坦和 L. 英费尔德合写的《物理学的进化》一书,以体裁独特、文字通俗、举例浅显、不引用数学公式等特点,详细地介绍了物理学观念从伽利略、牛顿的经典理论发展到现代的场论、相对论和量子论的演变情况,别开生面地选择了几个主要转折点来评述经典物理学的命运与现代物理学中建立新观念的动机所在,巧妙地引导读者去寻找观念世界和现象世界的联系。正像作者在“原序”中所叙述的那样,“这本书是你我之间的亲切的交谈。你也许会觉得它讨厌或有趣,枯燥或激动。但是,如果本书能使你多少知道一些人类有发明能力的智力,是为了更完善地了解掌握物理现象的规律而进行无穷尽的斗争,我们的目的便算达到了”。(秋 浦)