

# 我国声表面波研究与发展

李耀堂

(四川压电与声光技术研究所 重庆 400060)

1998年9月29日收到

**摘要** 本文综述了我国声表面波研究简要发展历程及现状,指出了今后我国声表面波研究发展的重点。

**关键词** 声表面波

## The research and development of surface acoustic wave (SAW)

Li Yaotang

(Sichuan Institute of Piezoelectric and Acoustooptic Technology Chongqing 400060)

**Abstract** This paper has described the brief developing process and condition of SAW research and indicated the focus of SAW investigation in China.

**Key words** Surface acoustic wave (SAW)

### 1 引言

声表面波 (SAW) 是超声电子学的一个重要组成部分。虽然早在 1885 年瑞利就从理论上阐明了各向同性固体表面上传播的弹性波特性和<sup>[1]</sup>,但直到 1965 年怀特和沃尔特默发明了叉指换能器<sup>[2]</sup>SAW 才得到了应用,才引起人们的高度重视。各发达国家相继投入人力和物力进行研究,而且获得突飞猛进的发展,迅速形成了从理论研究、材料开发、器件设计制造到系统应用的完整体系,并得到了广泛应用。

我国广大 SAW 研究者经过近三十年的努力也取得了很大的成绩。SAW 器件的综合设计水平已与国外相当,而且器件品种、规格繁多,应用广泛,已成为我国先进电子系统的关键器件之一。工艺设备及技术水平已大大改善

和提高,但与国外先进水平还有较大的差距,这也制约了我国 SAW 器件的发展,尤其是高频器件的发展。

### 2 我国 SAW 研究简要发展历程及现状

我国于 1970 年 5 月诞生了第一个声表面波和声体波研究室,开始了有组织的 SAW 研究。近三十年来,经历了基础研究、器件研制和试用、提高器件性能和投入实用、研制高性能器件和组(部)件、扩展应用范围等发展历程。

#### 2.1 基础研究和器件研制、试用

1970 年,在压电陶瓷和刚刚研制成功的 LiNbO<sub>3</sub> 单晶基础上,开始进行 SAW 非色散固定延迟线、SAW 滤波器、SAW 放大器的研

应用声学

· 3 ·

制,并于1971年底研制出中心频率60MHz、延迟时间 $5\mu\text{s}$ 、 $\text{LiNbO}_3$ 单晶作基片的非色散固定延迟线试样,与同类型声体波器件对比试用表明,SAW非色散固定延迟线不仅体积小,而且插损也小<sup>[3]</sup>。利用当时的工艺条件,通过一年多时间的努力试制出试样,虽不完美,但对我国SAW研制者还是一个很大的鼓舞。在此期间,我国许多科研单位、高等院校、工厂相继开展了SAW的研究,在基础理论和器件研制方面均取得了可喜的成绩。1977年10月四机部在四川省永川县1426研究所召开了“全国第一届声表面波技术交流会”(即410会议),49个单位107名代表参加了会议,发表学术论文60篇,其中基础理论14篇,器件研制20篇,材料工艺12篇,应用研究7篇,测量及其他7篇<sup>[4]</sup>。这次会议不仅交流了这一时期我国SAW研究的成绩和技术问题,总结了我国基础研究、器件研制和试用的情况,还第一次检阅了全国SAW研究阵容、沟通了科研、生产和使用单位的相互联系。

## 2.2 提高器件的综合性能,全面投入实用

“410会议”大大地提高了SAW技术在国内的地位,各级主管部门和学术界都十分重视和关心SAW的研究与发展。1978年11月“中国电子学会应用声学学会”成立了“声表面波专业组”。1985年10月原“声学学会”与“应用声学学会”合并成立了“中国声学学会”并成立了“中国声学学会超声电子学分会”,分会包括声表面波、声光、声体波及材料、系统应用四个专业组,使SAW在学术界占有了—席之地。

“410会议”后,SAW研究如雨后春笋般的蓬勃发展起来,在这一时期国内已有近三十个科研院所和工厂进行SAW研究。研究的内容遍及SAW带通滤波器、非色散固定延迟线、色散延迟线、抽头延迟线、振荡器、谐振器、电视中频滤波器、卷积器和SAW传输机理及材料和制造工艺等各个方面。研究的目的是提高器件的实用性能,投入电子系统实用。

“应用声学学会”或“超声电子学分会”适应当时发展形势需要,为促进SAW研究的进一步发展,在各方的支持下,召开了一系列的学术交流(或讨论)会,这期间(1980年至1990年)仅全国性的学术会议就有9次之多。

1980年4月在杭州举行了“第一届应用声学学术会议”,在会上发表了72篇SAW研究论文。论文充分反映了SAW研究所取得的成果,有些器件试验结果接近理论值:如中心频率60MHz、指长加权的双色散脉冲压缩滤波器,其压缩波形主旁瓣比的试验结果接近理论计算值;中心频率30MHz、抽头间隔 $0.4\mu\text{s}$ 、31位抽头的m序列相位编码抽头延迟线,其相关峰主旁瓣比与理论值接近;滤波器带外抑制已大于40dB,其实用器件的中心频率已达100MHz等。器件设计已应用了计算机辅助设计、二阶效应的抑制补偿技术、数字傅氏变换技术和积木式技术等,提高了器件的实用性能。传播和互作用的理论研究极好地指导了器件研制<sup>[5]</sup>。器件应用于“巨浪工程”,“705工程”422机等重点工程,以及雷达、通讯、电子对抗系统和广播电视系统中,其性能基本满足整机使用要求,且大大提高了整机(或系统)的性能。

1980年12月在南京召开了“SAW脉冲压缩滤波器及其在信号处理中的应用学术讨论会”,50个单位的63名代表参加。发表了“ $40\mu\text{s}$  SAW色散延迟线”,“ $50\mu\text{s}$ 均匀槽深的RAC研制”等14篇学术论文,并进行了热烈的讨论<sup>[6]</sup>。有力地推动了SAW脉冲压缩滤波器及其在信号处理中的应用。

1981年11月在重庆召开了“全国SAW工艺与材料学术讨论会”,42个单位的101名代表参加了会议,交流了在当时所具有的条件下进行工艺和材料研究所取得的成果。宣读了29篇研究报告,就共同关心的工艺与材料问题进行了广泛和毫无保留的讨论,并对今后的难题攻关进行了分工。这次学术讨论会大大地促进了工艺技术的提高及器件的研制<sup>[7]</sup>。

1984年在重庆召开了“第二届应用声学学术交流大会”，并专设 SAW 学术交流分会场，发表 SAW 研究论文 83 篇<sup>[8]</sup>，在 SAW 研究的深层次上进行了学术交流。

1989年在成都召开了“全国民用 SAW 器件及其应用学术交流大会”，发表了 34 篇研究报告<sup>[9]</sup>，反映了我国民用 SAW 器件研制和应用研究的水平，以及在整机国产化中所起的作用，进一步推动了民用 SAW 器件研制和生产。

1990年在黄山召开了“超声电子学器件在电子对抗、雷达和通信中的应用”学术交流会，发表论文 64 篇，反映了 SAW 器件在电子对抗、雷达和通讯中应用的进展，交流了经验<sup>[10]</sup>。

此外，1986年和1987年分别在北京和景德镇召开了“超声电子学分会学术年会”<sup>[11,12]</sup>，1988年在上海召开了“全国声学学术会议”<sup>[13]</sup>。在这些学术交流会上发表了许多 SAW 器件研制和应用的学术论文，交流了各自的研究成果。

由上述可见，在这一时期我国 SAW 研究在学术界相当活跃，研究和应用蓬勃发展，SAW 器件已广泛应用于电子对抗、雷达、通讯、导航等系统和广播电视系统等设备中，已成为先进电子系统的关键器件。

### 2.3 研制高性能器件和组(部)件，扩展应用范围

在成都和黄山学术交流会后，各研制单位除继续将已研制出的器件推广应用外，还根据应用发展的新需求，进一步提高器件的综合性能，研究高性能器件和组(部)件。如进一步降低 SAW 滤波器插损和使其小型化研究，开展声电荷耦合器件(ACT)、SAW 传感器的研究，研制 SAW 脉压组件、SAW 频率合成器组件、SAW 滤波器组件、可程序抽头延迟线组件、SAW 双工器等组(部)件。高性能 SAW 器件和组(部)件研制，不仅扩展了 SAW 器件应用范围，而且也推动了整机系统的发展。也

正是由于采用这些高性能 SAW 器件或组(部)件，许多先进电子系统才应运而生。

### 2.4 已形成批量和按标准进行研制、生产

为了满足大量应用的需要，我国 SAW 电视中频滤波器早已形成批量生产。据行业 1995 年的不完全统计，SAW 电视中频滤波器年产超过百万只的生产厂就有 10 个之多。军用量较大的 SAW 器件也逐渐形成了小批量生产，已建产了几条贯彻国家军用标准的生产线。

随着 SAW 器件在军民用电系统中的广泛应用和批量生产以及进入国际市场的需要，我国标准化工作者及时地制订了 SAW 器件国家军用标准、行业标准以及大量的企业标准<sup>[14]</sup>。国家军用标准《声表面波器件总规范》以及行业标准和大量的企业标准的贯彻实施，促进了我国 SAW 器件研制和应用的发展。

## 3 今后 SAW 研究发展的重点

### 3.1 进一步研制提高已有 SAW 组(部)件的性能，研制新用途的 SAW 组(部)件

我国已研制了不少的 SAW 组(部)件，并取得了可喜的成绩：如信号抑制大于 80dB，插入损耗仅为 12dB 的 10 信道 SAW 滤波器组<sup>[15]</sup>；明显提高无绳电话接收灵敏度的由两个 SAW 滤波器组成的收发两用双工器<sup>[16]</sup>；工作频率 960MHz，信号带宽 6MHz、色散时间 10 $\mu$ s、杂波电平  $\leq$ -50dBC 的用于脉冲压缩雷达的 SAW 部件<sup>[17]</sup>；具有频率切换时间小于 3 $\mu$ s，500MHz 偏离载频 1kHz 处相位噪声为 -100dBc/Hz 的 100 点 SAW 频率直接合成器<sup>[18]</sup>等。这些组(部)件的研制，既拓宽了 SAW 器件的应用范围，又取得了较好的经济效益。从发展的角度看，随着应用的拓展，将要求性能越来越高的 SAW 组(部)件。器件研制者应与系统研制者密切配合，在提高器件综合性能的基础上，进一步提高已有 SAW 组(部)件的性能，研制新用途的 SAW 组(部)件，满足系统应用，尤其是军事系统应用的要求。

### 3.2 继续降低 SAW 器件插入损耗, 加强 SAW 谐振器的研究

具有双向辐射的 SAW 器件的最大缺点是插入损耗(简称插损或损耗)大, 尤其是 SAW 滤波器, 由于插入损耗大就限制了它在接收机前端和移动通信中的应用。因此多年来, 我国的研究者一直追求降低 SAW 器件(尤其是 SAW 滤波器)的插入损耗, 从设计到制造做了许多卓有成效的工作: 对于相对带宽较宽的带通滤波, 目前多采用单相单向换能器 (SPUDT) 结构; 对于相对带宽较窄的带通滤波器, 多采用谐振器结构, 既达到了低损耗, 又能避免滤波器体积增大。如用 EWC/SPUDT 设计, 在 ST 石英、 $X-120^\circ Y$   $LiTaO_3$ 、 $128^\circ Y-X$   $LiNbO_3$  基片上研制成插损分别为 4.8dB、3.9dB 和 2.9dB, 阻带抑制分别达到 60dB、65dB 的滤波器; 研制成插损 2.7dB、阻带抑制约 60dB、相对带宽 0.05%–0.075% 的 SAW 横向模式耦合谐振滤波器等<sup>[19]</sup>。现已研制出了许多低损耗 SAW 滤波器, 在通信中获得广泛应用。但根据应用要求, 我国 SAW 研制者仍须继续努力, 尤其要加强 SAW 谐振器的研制, 研制出优质价廉的 SAW 谐振滤波器供通信机(尤其是移动通信机)应用。

### 3.3 进一步改善 SAW 研制条件, 加强 SAW 工艺技术研究

工艺技术提高是与一定的工艺条件相关联的。我国近几年通过不断的技术改造, 工艺条件有了较大的改善。如有的研制单位已具备精密图形发生器制备掩模版、电子束或溅射真空镀膜、激光封帽等工艺设备和较好的超净化工作环境, 工艺技术有了较大的提高, 这也是近几年 SAW 器件研制有较大提高和进展的原因之一。但与国外先进工艺设备相比较还有差距, 目前国内还不完全具备 1000MHz 左右的 SAW 滤波器的研制生产条件, 相应的工艺技术如 SAW 亚微米光刻技术、表面贴装技术等还研究不多, 这与通信对小型、轻量、低损耗滤波器的要求是不相适应的。而且随着通信系统频

率的提高, SAW 滤波器的中心频率还得相应的提高, 国外已研制出 1.5GHz、1.9GHz 的实用低损耗 SAW 滤波器。因此, 我们应进一步的改善工艺条件, 尽快形成较完整的 1000MHz 以上的低损耗滤波器研制生产条件。而且要加强工艺研究, 进一步提高 SAW 光刻工艺水平, 积极开展 SAW 表面贴装技术研究, 研制出小型、轻量的 SAW 表面贴装型滤波器。国外在这方面做了许多工作, 值得我们借鉴。

### 3.4 加强 SAW 应用研究, 大力开发移动通信用的 SAW 器件

我国移动通信(尤其是大哥大、汽车电话)发展十分迅速, 无线寻呼机 (BP 机) 与无绳电话配合使用也必将形成潮流。随着移动通信朝着微型化、数字化、智能化方向发展, SAW 滤波器等 SAW 器件以其体积小、重量轻、性能优良、成本低廉、一致性好, 适宜批量生产等优点, 越来越得到了广泛应用。在大哥大和汽车电话中 SAW 滤波器有可能完全替代目前还应用的高介电陶瓷半刚性同轴滤波器; 在 BP 机和无绳电话中, 使用 SAW 滤波器取代 LC 滤波器, 不仅克服了选择性、稳定性较差的缺点, 而且不需调整。所以, 移动通信的发展, 给 SAW 器件应用带来了一个大市场。我国 SAW 研制者一定要抓住机遇, 占领这个大市场。

要能在大哥大或汽车电话收发两用机中应用, 要求发射机滤波器损耗低 (2dB 以下), 功率高, 接收机滤波器损耗低 (4dB 以下), 旁瓣抑制高 (由于存在噪声和假信号)。以及由于两滤波器并联连接, 在其互频段要有电抗性, 以保证发射机功率不流入接收机, 而接收机信号流入发射机能被衰减掉。

因此, SAW 器件研制者要在低插损研究的基础上, 加强应用研究, 研制出完全满足移动通信, 尤其是大哥大、汽车电话、BP 机、无绳电话应用要求的 SAW 滤波器, 并解决高频 SAW 器件大批量生产中的技术问题, 使之形成大批量生产。

### 3.5 降低 SAW 器件成本

对于 SAW 器件, 尤其对于民用 SAW 器件, 其低成本是器件能否广泛应用的一个至关重要的问题。SAW 滤波器在移动通信中还没有完全替代介质陶瓷滤波器, 成本偏高是主要原因之一。

成本是综合因素的反映, 我国的 SAW 器件研制生产者应通过多种途径来降低器件的成本: 设计时, 不仅应考虑最佳设计, 还应留有一定的宽容度; 进一步进行技术改造, 加强工艺技术研究, 使研制生产能在合适的工艺条件和先进的工艺技术下进行; 通过科学管理和工艺控制, 提高生产成品率; 形成大批量生产等。当前重要的是进一步进行技术改造, 实现行业内的联合形成大批量生产, SAW 器件成本是能降低的。

## 4 结束语

时至今日, 我国 SAW 研究经历了近 30 年。在科技界同仁的关心下, 在各主管部门的重视支持下, 经过广大 SAW 研究和应用者的努力, 已经成长壮大成熟起来了, 成为电子技术的一个重要组成部分。相信今后只要我们抓住信息化发展的机遇, 突出研究重点, 加强联合, 在各方面的继续关心支持下, 我国的 SAW 技术会得到更大的发展, 会在迅猛发展的移动通信领域得到广泛应用, 跻身于世界 SAW 技术先进行列, 进入国际市场。

(上接第 43 页)

的方向, 若有一片搞错, 就相当与二片换能器相互抵消, 影响器件的性能。

### 参 考 文 献

1 徐介平. 声光器件的原理, 设计和应用. 科学出版社, 1982, 135-151.

### 参 考 文 献

- 1 Lord Rayleigh. *Proc. London Math. Soc.*, 1885, 17(4).
- 2 White R M, Voltmer F W. *Appl. Phys.*, 1965, (7): 314.
- 3 李耀堂. 第一届应用声学学术会议论文集. 1980.4
- 4 全国第一届声表面波技术交流会文集. 1978.10
- 5 第一届应用声学学术会议论文集. 1980.4
- 6 声表面波脉冲压缩滤波器及其在信号处理中的应用学术讨论会在南京召开. *压电与声光*, 1981, (2): 76.
- 7 全国声表面波工艺与材料学术讨论会在重庆召开. *压电与声光*, 1982, (1): 97.
- 8 第二届应用声学学术会议论文集. 1984.11
- 9 全国民用 SAW 器件及应用学术交流会议论文集. 1989. 12
- 10 超声电子学器件在电子对抗、雷达和军事通信技术中应用学术交流会议论文集. 1990. 10
- 11 中国声学学会超声电子学学术交流会议论文集. 1986. 10
- 12 中国声学学会超声电子学分会 1987 年学术交流会议论文集. 1987.11
- 13 1988 年全国声学学术会议论文集. 1988. 11
- 14 宋懿. *电子标准化与质量*, 1997, (6): 18-21.
- 15 黄广论等. *压电与声光*, 1995, (6): 1-7.
- 16 何世堂等. *中国电子报*, 1995, (5): 26
- 17 黄汉生等. *压电与声光*, 1996, (6): 361-364.
- 18 冯晓东等. 四川省声学学会、中国声学学会超声电子学分会'95 学术交流会议论文集. 1995, 154-156.
- 19 李耀堂. '96 中国西部地区声学学术会议论文集. 1996, 16-19.

- 2 Norman J B, John N L. *Acousto-Optic Signal Processing*. Marcel Dekker Inc, New York and Basel, 1983, 149-150.
- 3 Akis P G, Dennis R. P, Sergei V K. *Design And Fabrication of Acousto-Optic Devices*. Marcel Dekker Inc, New York, Basel, Hong Kong, 1994, 34-42.