利用准谐频叉指换能器实现 GHz 高频 SAW 滤波器

翟 凡　章 德　李 勇　谢中华

(南京大学声学研究所　南京 210093)　(南京电子器件研究所　南京 210016)

1998 年 1 月 16 日收到

摘要　本文利用准谐频设计方法，在常规光刻工艺水平上，成功地实现了 GHz 级声表面波 (SAW) 器件. 准谐频叉指换能器 (QHIDT) 的优点为：其指条宽与指间隙可以比一般的单指换能器宽，克服了单指换能器内指间的多次反射，并且又较好地解决了普通谐频叉指换能器基频抑制不好的缺点。本文给出了制作在 ST 石英基片上，工作频率 1128MHz 的声表面波滤波器的实验结果。

关键词　声表面波滤波器，准谐频，GHz

Implementation of GHz SAW filters using quasi-harmonic interdigital transducers

Zhai Fan　Zhang De

(Institute of Acoustics, Nanjing University, Nanjing 210093)

Li Yong　Xie Zhonghua

(Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing 210016)

Abstract　In this paper, GHz SAW filters are implemented using the quasi harmonic interdigital transducers(QHIDTs). The advantages of QHIDT are that the width of electrodes in QHIDT is wider than that of normal IDT with single fingers, and therefore the practical GHz SAW filters have been successfully implemented using conventional manufacturing processes. Furthermore, in QHIDT, multi-reflection between fingers can be eliminated and the fundamental frequency signal can be suppressed as well. The simulation of QHIDT is described in the paper, and the experimental results of a SAW filter working at 1128 MHz , fabricated on a ST Quartz substrate, are also shown in this paper.

Key words　SAW filters, Quasi harmonic, GHz

1 引言

随着通信技术的高速发展，高频 (GHz) SAW 器件在移动电话、卫星通信和高比特光数据传输等领域有着越来越广泛的应用，使用

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

量也越来越大。但高频 SAW 器件制作与批量生产的困难是细线条工艺的实现与成品率的提高。为了降低对叉指指条的工艺制作要求，总的来说有以下两条途径：(1) 采用高声速材料[1]，或采用快速声波模式[2]，(2) 寻求更好的换能器结构。就结构来说，主要有两种：一是使滤波器工作在高次谐波模式上[3-5]，可以使电极指条的宽度大于 1/4 波长，但一般工作在谐频的叉指换能器[5]其插损比较大，基频抑制不好。另一种方法是采用分组单指结构[6]抑制指间多次反射，但往往会引入较强的附加频谱和某些位置的指间隙会小于 1/4 波长。本文采用了准谐频叉指换能器 (QHIDT)[3] 的分析方法并在此基础上实现了 GHz 级的实用 SAW 器件。叉指电极的宽度可大于 1/4 波长，既改善了对基频的抑制，又克服了单指结构的叉指换能器内的指间多次反射。文中我们简单讨论了 QHIDT 的谐频激励机理，抑制非工作频率谐频信号的方法，同时给出了应用此方法设计的滤波器的实验结果。

2 准谐频叉指换能器 (QHIDT) 原理

可利用普通的叉指换能器的脉冲响应模型，来描述准谐频叉指换能器。将 QHIDT 分成指单元、数个指单元形成的单元组以及单元组阵列三部份。其结构如图 1(a) 所示。因此换能器的频率响应是三部分的乘积：

$$H(\omega) = H_c(\omega)H_h(\omega)H_a(\omega)$$

其中，$H_c(\omega)$ 与指单元有关；$H_a(\omega)$ 和换能器的阵列排列有关，阵列的排列周期决定了基频与谐频的频率位置；$H_h(\omega)$ 取决于单元组的性能，它决定了 QHIDT 激励不同谐频分量的大小。

为使分析简单、直观，假设指单元激发的是单个脉冲声源，然后由单元组中对应位置的脉冲声源形成一个脉冲阵列，如图 1(b) 所示。它的频率响应是周期性离散时域抽样的傅里叶变换，不仅有基频，还有高次谐频，其频率位置由阵列周期所决定。单元组的作用可看成数个脉冲阵列按指周期的排列。这样，整个换能器所激发的声波便成为数个脉冲阵列的组合，阵列之间是按指周期平移的。图 1(c) 所示的梳状频响是将单元组的滤波响应作为一个窗口去截取阵列频谱的示意图，抑制了部分不需要的谐频成分。第一个峰的频率 f_0 是基频，对应于阵列的重复周期，其它峰为高次谐频。从图 1(c) 可以看出，只要选用梳状谱中高于单元组中心频率的谐频作为 QHIDT 的工作频率，就有可能使指条电极宽度与间隙大于通常单指换能器的指条宽度 (1/4 波长)。单元组的选择对抑制不需要的谐频成分有很大的影响，但单元组通带内的无用频率成分的抑制必须依靠其它方法来解决。

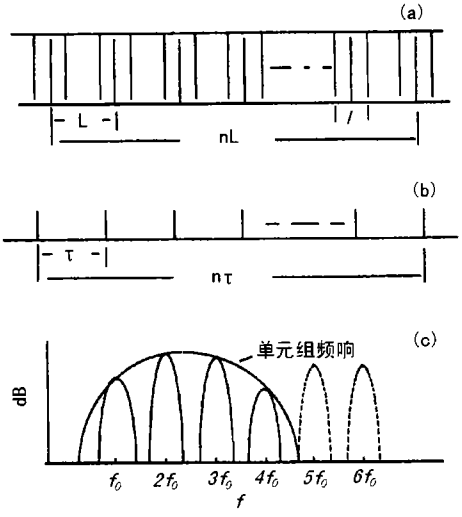

图 1 (a) QHIDT 结构示意图
(b) 时域中的等效脉冲
(c) QHIDT 频谱示意图

3 准谐频叉指换能器 (QHIDT) 的设计

通过以上的分析可知，设计 QHIDT 的关键在于：(1) 适当选择单元组结构，使其能有效截取频谱中所需的谐频成分，并抑制其它谐频成分；(2) 决定输入、输出换能器的阵列排列形式，使得它们频响的某一谐频峰对准工作

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

频率位置，并能相互抑制其它无用谐频分量。

单元组的设计可以选用文献 [3] 的结构，其指单元数与指周期可灵活选择，只要所利用的谐频高于单元组的中心频率，指条的宽度与间隙均可大于工作频率的 1/4 波长，但必须注意在通带内避开指条间的多次反射效应，必要时可略微移动电极位置或改变电极宽度来抑制指间多次反射效应。当指周期为 $4\lambda/7$ 、 $3\lambda/5$ 等，并且指条的正负排列满足工作频率采样时，即为文献 [4] 的方法。

输入、输出换能器阵列设计的要点是选择不同的阵列周期，其原则是：必须保证两换能器梳状谱中的某一个谐频位置对准，并与工作频率相同，而且其它谐频 (包括基频分量) 位置相互错开，使无用的谐频分量得到有效的抑制。图 2(a) 、 (b) 、 (c) 分别为不同单元组的 QHIDT 结构。

图 3(a) 、 (b) 分别是图 2(b) 、 (c) 准谐频叉指换能器在频率范围为 (1 ± 1) F_0 内的响应曲线。图中虚线为单元组的频响曲线，实线为阵列的频响曲线。从中可以看出两个换能器的阵列响应中有一个谐频对准，其它谐频位置错开。为了得到较高的旁瓣抑制，换能器可以采取一般切指加权或抽指加权。图 3(c) 为由图 2(b) 、 (c) 组成一个滤波器后，在频率范围为 $(1\pm1)F_0$ 内的 SAW 滤波器的理论计算频响，图 3(d) 为频率范围为 $(1\pm1/10)F_0$ 内的器件的理论计算频响曲线，基频和主旁瓣均被抑制在 50dB 以下。

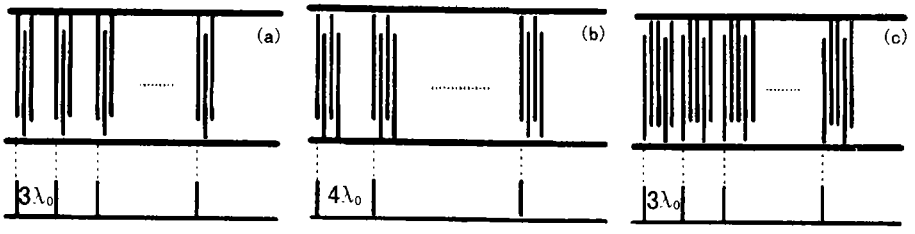

图 2 (a) QHIDT 结构 A 示意图 (b) QHIDT 结构 B 示意图 (c) QHIDT 结构 C 示意图

4 实验结果

我们设计、制作并测试了一组 GHz 级 SAW 滤波器，频率从 936MHz 到 1152MHz，均以 ST 切割石英为基片。在设计中采用了准谐波法，有效地增宽了换能器的指条。以 1152MHz 滤波器为例，输入、输出叉指换能器的最细电极宽度分别为 0.82μm 和 0.78μm(对应频率的分裂指电极宽度应为 0.34μm ，单指换能器的电极宽度应为 0.68μm) 。为避免光刻时的驻波效应，采用了一种具有反转特性的光刻胶，用剥离工艺制作亚微米细线条电极。

图 4(a) 是工作频率为 1128MHz 的 SAW 滤波器的实验测量频谱。经调谐后，在 50Ω 系统中的插损为 11.61dB，主旁瓣抑制在 40dB 以下，3dB 相对带宽小于 0.4% 。由于设计中已考虑到消除换能器内部的指间多次反射，因此其通带波纹很小。图 4(b) 是工作频率为 1128MHz 的 SAW 滤波器的低端远阻带频率的特性图。从图可见，滤波器的无用谐频分量均被有效地抑制在 40dB 以下，已达到设计要求。

5 结束语

准谐频叉指换能器可降低对指条宽度细小的要求，设计灵活，有效地抑制了基频信号与指间多次反射效应，它降低了工艺要求，并以此技术成功地实现了实用的 GHz 高频 SAW 器件。

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

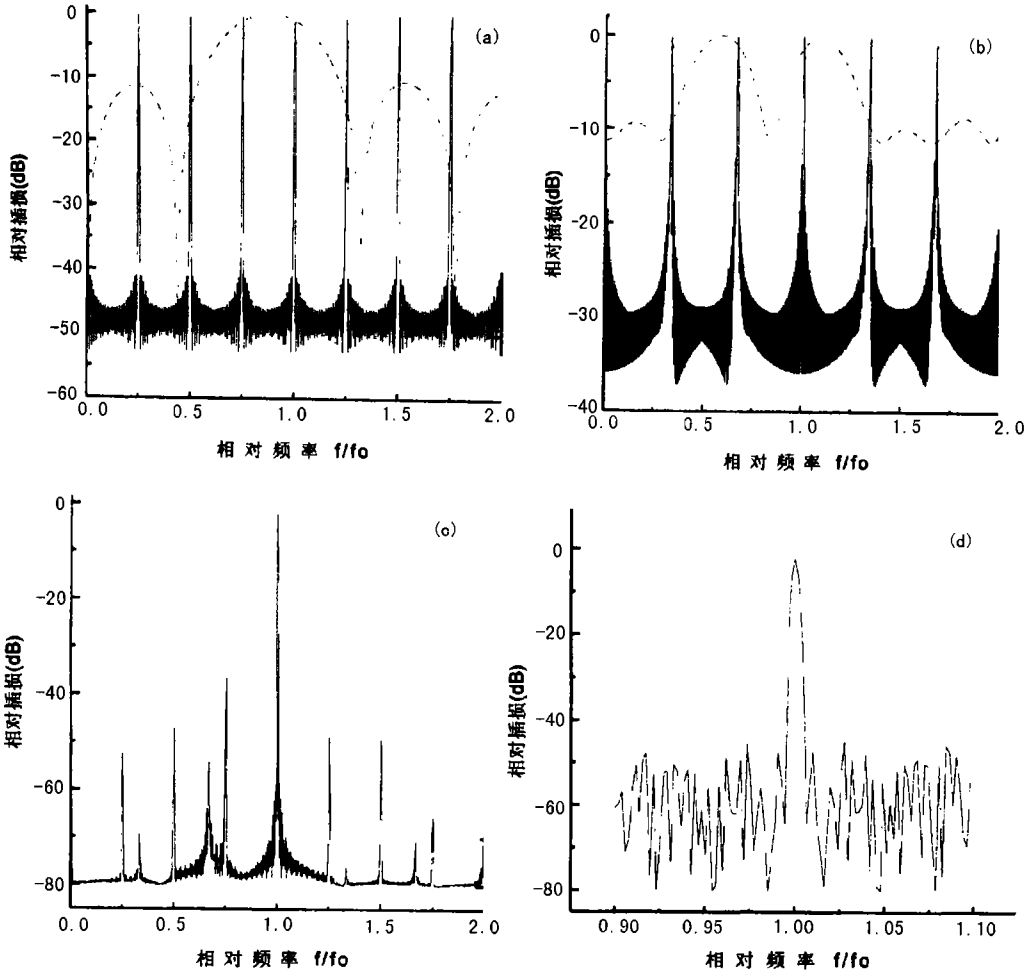

图 3　(a) QHIDT 结构 B 的频谱 (频率范围 $(1\pm1)F_0$, 切指加权)
(b) QHIDT 结构 C 的频谱 (频率范围 $(1\pm1)F_0$)
(c) 滤波器的理论计算频谱 (频率范围 $(1\pm1)F_0$)
(d) 滤波器的理论计算频谱 (频率范围 $(1\pm1/10)F_0$)
---单元组频响　　— 阵列频响

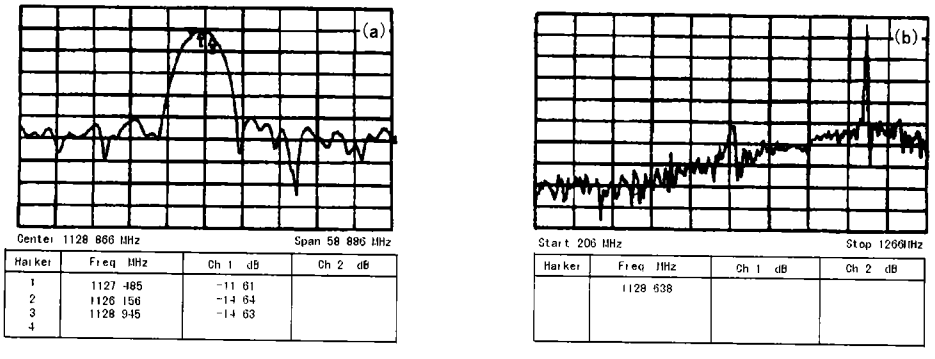

图 4　(a) 工作频率为 1128MHz 的滤波器频谱　(b) 工作频率为 1128MHz 的滤波器的低端远阻带频谱

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参 考 文 献

1 Eric L, Adler, Solie L. ZnO on diamond: SAWs and pseudo-SAWs, IEEE Ultras Symposium, 1995: 341–344.

2 Li Y C, Zhang D. Investigation of surface leaky longitudinal waves on Lithium Niobate substrates, IEEE Frequency Control Symposium, 1997.

3 Yin X Y, Zhang D, Wu P et al. Quasi-harmonic Interdigital Transducers, IEEE Ultras symposium, 1995: 301–304.

4 Wright P V, Thompson D F, Chang R E. Single-Phase Undirectional Transducers Employing Uniform-Width Dithered Electrodes, IEEE Ultrasonics Symposium, 1995: 27–32.

5 傅金桥，肖燕，曹亮. 压电与声光，1994, **16**(2): 4–10.

6 傅金桥，曹亮，肖燕. 压电与声光，1996, **18**(2): 73–75.

开展声的生态学和声景研究

近年来人们重视研究生物及其声环境的关系，提出了“声的生态学” (Acoustic Ecology) 这一名称，它综合了声学、美学、哲学、建筑学和社会学等学科的内容，它所处理的问题称为“声景” (Soundscape 或称 Acoustical Landscape)。

声景一词最初由加拿大 Murray Schafer 所提出，他是作曲家和研究工作者，“声音世界的调和” (The Turning of the World) 一书的作者。声景是指在一定地区内有关声音的总体情况，它反映了该地区内的社会、技术和自然情况。Schafer 提出的“世界声景计划”是要使听声和发声相互保持微妙的关系，此计划之任务乃是要促进两者之间的和谐。

1993 年 8 月，一次以“声音世界的调和”为主题的国际性学术会议在加拿大班芙市举行。讨论的中心议题包括对大众安静的看法、民族与音乐的生态学 (ethno-music-ecology)、城市声景、感到讨厌的声谱和声考古学 (sound archeology) 等。

1995 年美国声学学会春季年会上，首次由音乐声学和噪声两个专业委员会联合举办“声景”专题分组报告会。世界声景计划研究主任、著名作曲家 Truax 作了题为“声音的文脉：在 Simon Fraser 大学进行的声通讯和声景研究”。其它特邀报告还有：“小区噪声：主流探索”、“声卫生学：保护耳、肺和其它器官不受伤害的重要性”、“由一个‘声音观察点’发展到‘充满声音的城市’总体计划”。

1998 年 6 月的第十六届国际声学大会上，在噪声和建声专业组亦有一个称之为“天然和建筑环境中的声景”专题分组会。共有 4 篇论文：房屋研究中有关需要支助的声景 (瑞典和波兰合著)；外国人所辨认的日本声境特征 – 对居住在日本的外国人所作有关声音的问卷调查 (日)；展示本土音乐和舞蹈的展览馆中的声学问题和声学设计 (澳)；商业建筑中声环境实际条件调查 (日)。

(同济大学　王季卿)

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net