

QZB87—01

微細加工論文集

航天部二院二〇八所

一九八七年一月

目 录

系统工程、微电子器件与微细加工	郝玉泉 (1)
现代电子束曝光机	陶友松 (24)
离子束技术应用的新发展	刘金声 (35)
亚微米复印技术	陶友松 (47)
国外微细加工技术的发展与应用	汪福敏 陆永刚 (61)

系统工程、特种器件 与微细加工

郝 玉 泉

前 言

所谓特种器件主要是指诸如电荷耦合器件 (CCD)、声表面波 (SAW) 器件、微波集成电路 (MIC)、集成光学器件 (IOD)、超导器件 (SCD)、磁泡 (MPO) 器件、声光 Bragg (AOB) 器件、薄膜磁头 (FMF) 器件、红外光栅 (ILG) 器件等具有特殊功能的电子器件。这些器件基本上都是近一、二十年发展起来的, 它们的问世给电子系统带来了前所未有的技术变革。过去只能在实验室仿真模拟的理论, 由于一些特种器件的出现, 使其走出试验室而达到实用, 过去只能做纸面文章的理论, 随着一些相应特种器件的诞生而得以物理实现, 有时在科学研究过程中, 会发现一些过去没有发现过的现象, 就有可能产生新的理论, 构思和制造出新型的特种器件, 在系统工程中发挥了关键的作用。

现代电子技术发展的方向是微型化、固态化、集成化、自适应和高可靠, 而特种器件是达到这一目的的关键器件, 微细加工技术是这些特种器件和VLIC发明、制造和进一步发展的工艺基础, 是一种涉及学科门类较多、综合性很强的新技术。从根本上来说, 微细加工技术的水平标志着电子技术的水平。因此, 没有微细加工技术就不可能有代表高级技术的特种器件和VLIC, 没有微细加工技术, 就不可能有先进的电子系统, 就不会有四个现代化。

例如, 美国贝尔实验室的Boyle 和 Smith 在探索磁泡器件的电模拟过程中, 根据电荷转移的现象于1969年秋构思了CCD的原理, 就是因为当时已经有了好几种现成的MOS工艺, 所以进展极快, 几乎在一夜之间CCD的实验室模型就大量出现了。但利用原有的工艺技术水平, 制出合用的CCD商品却没有预料的那样快, 因为当时的工艺还不能使器件制造达到高成品率、良好线性、高信噪比及低暗流等高性能。但在七十年代, 由于电子束曝光机的实用化及电子束曝光新技术的发展, 其微细分辨力能力已完全超过了制造合用器件所需要的最小物理尺寸。

但是, SAW器件的发展过程却经历了一条不同的道路。从1895年Rayleigh发现了SAW的存在, 直到1965年叉指换能器发明之后才制出了SAW器件, 其间经历了漫长的岁月, 根本原因就在于当时没有制造这种器件的工艺。六十年代半导体平面工艺的发展, 为SAW器件的制造开辟了道路。到目前为止, 短短十几年的时间, 各种类型各种用途的器件已研制出四、五十种, 广泛地渗透到电子技术、信号处理的各个领域。

大规模和超大规模集成电路就更加依赖于微细加工技术的水平。LIC、VLIC、特种器件技术及微细加工技术已构成一个全新的微电子学科。它们是互相促进又是互相依存的。

随着科学技术的发展, 许多过去用大量分立元件组成的一个系统或分机的功能, 现在用

一个器件或一块集成电路就可以实现了,可以预计,许多今天的所谓系统的功能,明天就可以用一种新的特种器件或一块更大规模的集成电路就可以实现了,这是科学发展的必然趋势。这种趋势给科技工作者提出了新的要求,无论是从事系统工作的,还是从事特种器件或集成电路的人,都必须在一定程度上抛弃过去那种关于系统和器件的陈腐观念,必须适应这种发展,以新的概念和观念迎接新技术革命的挑战。

特种器件种类繁多。五花八门,工作机理各不相同,应用十分广泛。在一篇短文中不可能进行完整的叙述。这里只就SAW器件和CCD等少数几种器件在部分系统中的应用进行简要的描述,着重叙述在雷达、电子对抗等军用电子系统中的应用。目的在于宣传特种器件,发展特种器件,应用特种器件,促进军用电子技术的技术变革,发展航天事业。同时,掌握特种器件、微细加工技术的发展趋势,如何制定我们的对策、尽快赶上世界先进国家的水平。

一、特种器件的发展趋势

本文只就 SAW 器件、CCD、微波集成电路等少数几种器件谈谈个人的看法。

我认为总的来说,有三个方面。〈1〉集成化,〈2〉发明新功能器件,〈3〉开发特种器件的应用。

1. 分立器件的集成化

集成化应包括两个涵义:

〈1〉各种功能器件自身的集成

对某些器件来说,如MIC、CCD、MPO等,集成是它们的固有特性,因此,对它们来说,就是进一步提高集成度。如CCD,在1977年美国德克萨斯、仙童和英特尔公司就有64K CCD存贮器的商品出售。1979年就可以买到256K存贮器。这就是说经过了2—3年的时间,存贮容量翻了二番,现在,先近的电子束曝光机及其它干法工艺技术的发展,可以使最细线条达到 $0.1\mu\text{m}$,就可以使CCD存贮器容量达到4 Mbit。

微波集成电路的发展,目前仍然存在两个分支,混合式微波集成和单片微波集成,就目前的工艺水平来说,其各有优缺点。虽然看起来,混合微波集成不是发展的方向,但目前在微波应用领域仍占有相当大的比重,特别是近年来,由于可得到准确的元件特征和覆盖带宽结构,可以采用计算机辅助设计和自动网络分析系统的自动测试,进一步发展了小型混合组件的新概念,仍有很大的应用潜力。

当然,单片微波集成也很快地发展起来,而且必将成为MIC的最终发展方向。如J. Culp等人设计制造的4 Gllz Ga As单片接收机,其芯片尺寸只有 $1.6\times 1.6\text{ mm}^2$,上面集成有五级射频放大器 and 一级双平衡混频器。它是用电子束和离子束技术实现的。

其它如IOD、MPO等都有一个提高自身集成度的问题。有的特种器件,目前也走上了集成化的发展方向,如SAW器件,在雷达频率捷变系统及电子对抗系统中都应用一种SAW带通滤波器组,在一块基片上,有的集成了32个带通滤波器。还有的采用偏置多条耦合器技术,在一个单片上制造一个输入多路输出的多工器,等等。这就说明,已经集成化的器件,要进一步提高集成度,还没有集成化的器件,也在根据自己的特点和系统的需要进行自身集成化,它代表了一种方向或趋势。

〈2〉不同功能器件之间的混合集成

近几年发展很快的声光Bragg器件，CCD彩色摄相机就是这种混合集成的典型。

声光Bragg器件是声波器件与光学器件的机理集成而构成的一种新型特种器件。它是利用体声波或表面声波与光束的相互作用，根据声波频率的不同使光束产生不同角度的偏转。

CCD摄相实际上是把光敏元件与CCD的集成，光敏元件可用光电二极管或具有感光性质的MOS电容进行光电变换，其光生电荷作用于CCD。每个光敏元件与CCD每个单片构成一个像素，再用一个扫描开关，就可以读出每个像素的数据。

随着薄膜功能材料的发展，新的混合集成特种器件会不断出现。单片混合集成固然是一个发展方向，各种特种器件不同基片封装在一起构成一个双重混合集成器件也有很大的潜力，特别是在未来的几年内，会有较大的发展，如微波集成电路和SAW器件的双重混合集成，已有较为广泛的应用。薄膜磁头和外电路的集成，磁泡器件与外电路的集成，等等，都会有较大的进展。

总之，特种器件的集成化是实现电子系统的发展方向的必要措施。

2. 发明新的功能器件

特种器件的发明和发展有两个重要的动力，一个是系统的特殊功能要求，二是微细加工技术的发展。

电子系统微型化，自适应能力在某种程度上来说是没有限度的。必须有越来越高级的新技术与之适应，作为重要的高级技术的特种器件必须有新的突破。

声波器件的发展历史在一定程度上可以说明这个问题。在信号处理技术中首先出现和应用的是体声波器件，如铝带、钢带色散延迟线，随之是IMCON线的应用。由于其中心频率较低，工作带宽较窄，不能满足进一步的系统要求，加上工艺技术的可能性，SAW器件出现了，在一定程度上取代了体声波器件，它把频率范围扩大到GHz量级、带宽也可以达到500MHz，然而随着系统的发展，功能要求的变化和提高，又相继出现了SAW卷积器，静磁波器件、声光Bragg器件等，它们在工作频率，信号带宽和自适应方面又有了新的扩大。但系统的要求还在不断提高，而这些器件本身也有一定的适应范围，为满足新的系统要求，主要有二个方面的工作，一个是提高微细加工技术的水平，拓宽现有器件的性能参数范围。另一个就是发明新的器件，开拓新的技术领域，而且这是一条最根本的出路。因为任何一种工作机理的器件都有其一定的参数范围，不去开拓新技术，而只是原有的基础上的改进，这是不会持久的。

3. 开发特种器件的应用

已发明的等种器件种类很多，仅以SAW器件为例，种类就有四、五十种之多。那么有多少在系统中已真正使用，到目前为止，可以说很少。每年一度的国际超声会议，关于SAW器件应用方面的文章逐年增多。1973年约为14篇，1974年约为14篇，1975年约为16篇，1976年约为19篇，1977年约为28篇，1978年约为29篇，1979年约为35篇，1980年约为35篇，1981年约为37篇，1982年约为38篇。从这些文章中可以看出SAW器件的应用潜力是很大的。那么为什么真正用于系统的很少呢？其原因是多方面的，〈1〉系统工作人员对这种器件缺乏了解和认识，对真正应用这种器件还不够放心，或者说过于求全，过于要求理想化，〈2〉器件工作人员缺乏系统知识，自己不能主动进行系统应用试验，提供足够和可靠的系统应用方面

的数据供系统工作人员参考,使新的研究成果不能及时转化为生产力。这也与器件工作人员的知识面及对系统工作的某些偏见有关。〈3〉总的来说,SAW 器件还是属于新的年轻的器件,缺乏各种试验的考验及复杂实际环境的系统、全面的考查,这也阻碍了它的推广应用。

在我国这个问题尤其突出,真正付之系统应用的,就是带通滤波器包括电视中频滤波器,脉冲压缩色散延迟线,寥寥无几。但在各种会议和报告中,谈 SAW 器件应用的文章不为少数,有的属综合性报导,有的做了点零散的试验,缺乏全面的,充足的,可靠的实验数据。因此,我认为开发推广 SAW 器件的实际应用比研究新的 SAW 器件更为迫切,新器件的研究工作是必要的,但应投入较大的力量从事 SAW 器件的应用开发。这是系统工作人员和器件工作人员共同的任务,但我认为器件工作人员更应重视这个问题。

二、特种器件在电子系统中的应用

特种器件种类繁多,工作机理各不相同,全面论述各种特种器件的各种系统应用,受篇幅限制,本文是不可能做到的。只作为整个题目的第 I 部分。着重介绍 SAW 器件、CCD、微波集成电路在军用电子系统中的应用。

1. 特种器件在雷达接收机中的应用

特种器件的系统应用主要是从军用电子系统开始的,逐步推广到其它各个领域。国际上的军备竞赛,说到底还是军事技术的竞赛,谁掌握最先进的军事技术,谁就是真正的军事强国。正因如此,军用电子技术的发展异常迅速,军用系统要求的功能越来越多,性能要求越来越高。现代雷达不仅要求一定的作用距离,高的测量精度和跟踪精度,高分辨能力,而且要求有强的生存能力、抗干扰性能和对各种环境的自适应能力。许多特种器件正是在自身固有的物理特性的基础上为满足各种不同功能要求而发展起来的。

〈1〉. 微波集成电路

现代雷达高频接收机的小型化、高可靠、多路一致性和灵敏度的要求很高。目前采用的参量放大或晶体管放大式结构难以满足要求,但微波集成电路完全可以胜任,且便于系统的积木化结构。目前,在 GaAs 上的单片微波集成电路,已使工作频率达到 35 GHz,已开始跨入毫米波的频段。能够把放大、混频、振荡、相移和开关等功能电路制作在一个芯片上,可以完成整个高频接收机的功能。

P. N. Rigby 等人设计制作的宽带单片低噪声反馈放大器,带宽从 0.6 GHz 到 6 GHz,每个芯片增益 6 dB,噪声系数 4 dB,可进行级联,最高可获得 50 dB 的增益,带内波纹 ± 1.5 dB。这种微波集成电路可以做成系列化产品,也可以为特殊需要的系统专门设计和制造。

美军的新型中程空空导弹 AIM-120A,使用了林斯导弹系统分公司研制的现代化微波集成电路,使其成为 80 年代中期美国空军和北约空军使用的一种可靠性和杀伤概率都很强而且成本很低的武器系统。整个微波雷达装在一个 34 英寸 $\times$ 4 英寸的空腔内,其射频系统是由 10 块沃特金斯—约翰逊公司研制的密封微波集成电路组成。每块约为 1.5 英寸 $\times$ 0.64 英寸。这些集成电路都是装在氧化铝基片上的薄膜混合式集成电路,它由场效应管, PIN 管和连接器组成,使体积减小了 90% 以上。M/A-Com 公司也为该电子装置生产了高频头和微波组件,它由 12 块微波集成电路组成,其中大多数都包括 PIN 管、混频器、场效应管放大器和双极振

荡器。高频头的直径为5.5英寸×1英寸，微波组件有15块微波集成电路，体积为5英寸×4英寸×0.8英寸，电路主要由微波限幅器、混频器、压控振荡器和转换装置组成。

MIC的应用，不仅使整机性能大为改进，而且在一定程度上改变了雷达高频接收机的系统设计方法，使一直难以解决的高频接收机积木化问题得到实现。

（2）. 频率综合器

目前，雷达频综基本上都是采用较低频率的晶体振荡器加倍频链的方式，体积大、成本高、耗电多、可靠性差。而采用SAW或掠面体波振荡器，基波频率可以提高到1GHz以上，如美国的K·V. Rousseau等人1981年在AT切割石英基片上制成的掠面体波延迟线振荡器，基波频率为3.1GHz。在BT切割石英基片上制成的掠面体波延迟线振荡器，输出的五次谐波频率为2.2GHz。温度移定度在100℃温度变化范围内的频率优于15ppm。长期老化特性在18个月内的频率波动为-0.1ppm/年。由于SAW器件可以在高功率下进行处理，所以，SAW振荡器的噪声特性优于体波晶体振荡器。其老化特性的典型参数为1-10ppm/年，比体波晶体振荡器差一个数量级。在ST的切割石英基片上制作的SAW振荡器，在没有外部补偿的情况下，温度稳定性相对来说最好的，因为它有零值一阶温度系数。其短期稳定度可达 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 。

目前，尽管SAW振荡器的长期稳定度要比晶体振荡器低1~2个数量级，但在许多场合已可满足要求。其主要优点是可以直接获得具有较高稳定度的微波频率、体积小、耗电少、可靠性高，在气象雷达、交通管制雷达、卫星地面站、各种军用无线电台等许多电子系统中都很适用。器件设计师们也正在千方百计的改进换能器或反射器的设计、工艺和封装，相信在不久的将来，它的老化特性也能达到体波振荡器的水平。

当然，微细加工技术的发展，使体波晶体振荡器的频率有大幅度提高，聚焦离子束刻蚀机的研制成功为我国填补了一项空白，非常适用于石英晶体的减薄加工，它比均匀栅刻蚀的速率提高8-10倍。由于这项技术的突破为提高石英晶体振荡器的基波频率打下了工艺基础，它可以使晶体减薄到亚微米，可使其振荡频率提高到GHz量级。又为石英晶振开创了光明的前景。作为整个振荡器来说，还有二个问题没有解决。一个是振荡电路部分难以实现，第二个是刻蚀晶体厚度终点检测，还没有找到高效、合理的方法。目前国内研制成功的晶体振荡器频率只有50MHz左右。

可以预料，这两项频综技术一定会出现越来越激烈的竞争。

另外，许多现代雷达为了提高抗干扰性，要求具有频率捷变功能。采用

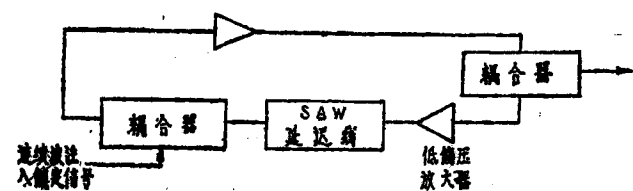


图1 锁模SAW振荡器简化方框图

SAW锁模振荡器产生梳齿状频谱，并用温度稳定的ST切割石英基片制成的SAW带通滤波器组，可获得稳定的单模振荡输出，其滤波器把虚假信号抑制到60dB以下。频率转换开关的速度为几十毫微秒。锁模振荡器方框图如图1所示。

频率捷变式SAW振荡器简单方框图如图2所示。

（3）. 频域滤波

目前，雷达系统中，频域滤波多采用LC滤波器。但它有三个缺点：一是稳定性特别是

温度稳定性差；二是调整工作量大；三是一致性差。

SAW 滤波器的稳定性与器件的封装和设计有很大关系，在选择合适基片的前提下，其

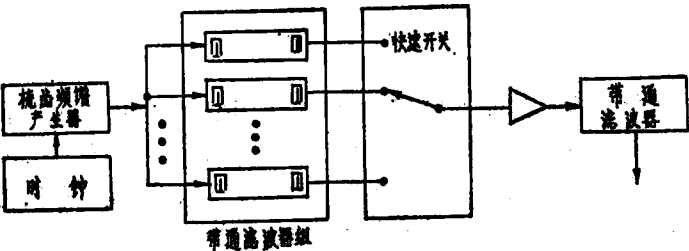


图2 频率捷式SAW频综简化方框图

底面用薄膜金属条加电生热，使器件内部保持在一个高于室温的温度下。器件采用热绝缘的真空密封，可以解决包括温度变化在内的稳定度问题。另外，器件一旦制造好以后，其频率特性就确定了，无需进行很多的调整。所有器件采用同

一块铬版光刻，严格控制膜层厚度，就可以保证极好一致性。正因为如此，SAW滤波器在各个电子技术领域中获得了广泛的应用。SAW滤波器的弱点就是插入损耗较大，一般为15-20dB，目前已研制出许多种低插损滤波器，其插损可低至1 dB以下。由于SAW滤波器的固有特点决定，它不能构成高通或低通滤波器。目前带通滤波器的性能可参见表一。

表一 SAW滤波器参数

参 数	目 前 水 平	将 来 水 平
中心工作频率	10MHz~4.4GHz	6 GHz
带 宽	20KHz~0.7f ₀	0.8f ₀
插 入 损 耗	2	1
最小形状因子	1.2	1.2
最小过渡带宽	50KHz	20KHz
旁 办 抑 制	60dB	70dB
极 限 抑 制	90dB	100dB
线性相位偏离	± 1°	± 0.5°
幅 度 波 纹	0.01dB	0.01dB

SAW 带通滤波器是一种应用最广泛的器件，各种参数的带通滤波器，单元数目不同 参数不同形式不同的各种带通滤波器组，应用十分活跃，可以说根据系统的实际需要，基本上可以实现随心所欲的设计，极其灵活和方便，其中民用设备中的电视滤波器采用 SAW 器件就更为普遍。

2. 特种器件在信号处理中的应用

在特种器件问世之前，信号处理基本上有二大途径，一为数字技术，二为集总元件的网络综合。虽然在许多场合实际采用了网络综合技术，但相对于数字技术来说，显得没有竞争能力。随着特种器件的相继出现，信号处理技术异常活跃起来，不仅使模拟信号处理技术出现了勃勃生机，与数字技术产生了激烈的竞争。而且由于某些特种器件如 SAW 器件、CCD、光栅器件、磁泡器件等的固有特点，它们在不同程度上可以和数字技术兼容。这样就出现了

既有模拟式处理的高速度、又有数字式处理的灵活性的新型信号处理技术。无疑这将是未来一段长时间内的发展方向。

〈1〉. 脉冲压缩技术

脉冲压缩理论在二次大战中就已产生，但苦于没有合适的器件，而一直不能实现，很长时间停留在试验室的仿真工作。后来用集总参数元件网络搭起的试验模型，也是一个庞大的没有实用价值的系统。直到六十年代微声器件的出现，才使其到达实用阶段，特别是六十年代后期出现的 SAW 器件，又使这一技术获得突飞猛进的发展。不仅推动了雷达信号理论的进步，也为其它信号处理技术带来了新的生机。

用SAW器件实现脉冲压缩技术的方法很多，主要取决于系统对信号形式的要求。线性调频、非线性调频、巴克码、最大M系列码等，SAW器件具有很大的设计灵活性和很强的工艺适应性。

又指换能器与沟槽反射阵列的SAW线性调频色散延迟线的性能参数见表二所列。

矩形线性调频色散延迟线的脉冲响应，其频率响应也近似于矩形，但有明显的Fresnel起伏。在接收系统的匹配滤波器内，可以通过对色散换能器的内加权（幅度和抽指）实现对时间旁办的有效抑制。它对Doppler频移不敏感。而非线性调频信号无需实施加权就可以获得低于-30dB的时间旁办，其频谱函数比较光滑，带内起伏较小，但它对Doppler频移比较敏感，而且不易得到很低的付办电平。

表二 又指换能器与沟槽反射阵SAW chirp滤波器特性

参 数	又指换能器式		沟槽反射阵式	
	目前	将来	目前	将来
中心频率 (MHz)	10—1200	10—1500	60—1200	60—2000
带 宽 (MHz)	1—500	1—750	1—500	1—1000
色散延时 (μ s)	0.5—50	0.1—80	1—100	0.5—120
时间带宽积	4—800	4—2000	40—16K	10—50K
幅度起伏 (dB) _{p-p}	0.2	0.1	0.5	0.5
相位误差均方根值	0.5	0.2	0.5	0.5
旁办抑制 (dB)	-45	-50	-40	-45

SAW 脉冲压缩技术有效地解决了最大作用距离和距离分辨率之间的矛盾、距离分辨率和速度分辨率之间的矛盾。目前以研制出的500MHz带宽的 chirp 器件，距离分辨率小于1米。此外，为提高名义分辨力，必须采用加权技术抑制旁办，目前多采用 Hamming 函数或 Taylor函数加权。抑制时间旁办对复杂环境下的目标识别，弹道导弹的突防、反突防技术及反坦克群导弹武器系统的目标分辨及制导等都有其重要的意义。

〈2〉. 自适应匹配滤波

前面提到的色散延迟线、各种抽头编码延迟线，虽然可以实现匹配滤波，但变换信号形

式比较复杂,而 SAW 卷积器却具有极强的信号适应能力。实战中的雷达所遇到的目标环境是多种多样、十分复杂的,对不同的目标环境应该采用与之相匹配的信号形式。SAW 卷积器可以完成各种信号的匹配处理。

SAW 卷积器是利用压电非线性效应构成的一种声学参量器件。在小信号下,压电晶体的压电关系呈线性关系,但当电场强度超过一定限度时,压电关系呈明显的非线性,表三列出了几种主要类型器件的典型性能。

目前,卷积器还存在的缺点是参考信号与输入信号的同步输入问题和卷积效率还比较低等问题,为克服这类问题,K. A. Ingebrigtsen 等人1975年提出了存贮相关器的结构。信号存贮的主要机理有<1>荷电载流子陷落在表面之下或体内的陷井中贮存;<2>利用半导体材料的表面态贮存;<3>利用PN结二极管贮存等。这种器件的优点是在读出信号时原信号不被破坏,而且卷积、时间倒置、信号延迟等功能都能很方便的实现。

<3>. 频谱分析

SAW Chirp变换技术的历史不长,但已初步显示出其应用潜力。用SAW色散延迟线和一定的外电路可以很容易地构成chirp变换系统,其基本形式有二种,一种为M-C-M,另一种为C-M-C型,如图3所示。

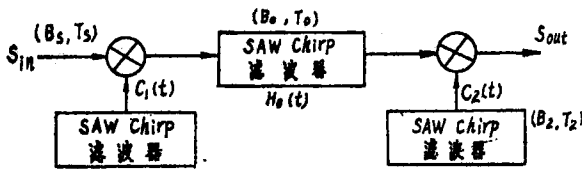


图3(a). M-C-M型chirp变换方框图

M-C-M型结构的最大信号持续时间为 T_1 ,最大信号带宽为 $B_2 = B_0 - B_1$ 。因此,须根据可能的输入信号的带宽和时宽来确定这三个chirp滤波器的带宽和时宽要求。如果输入信号带宽 $B_s > B_0 - B_1$,

则变换后的输出信号被截断。如果输入信号的时宽 $T_s > T_1$,则输入信号被截断。

C-M-C型结构最大信号带宽为 B_1 ,最大信号持续时间为 $T_2 = T_0 - T_1'$,因此,根据可能的输入信号的带宽和时宽来确定图中三个chirp滤波器的参数要求。如果输入信号的时宽 $T_s > T_0 - T_1$,输入信号被截断,如果输入信号的带宽 $B_s > B_1$,则变换后的输出信号被截断。

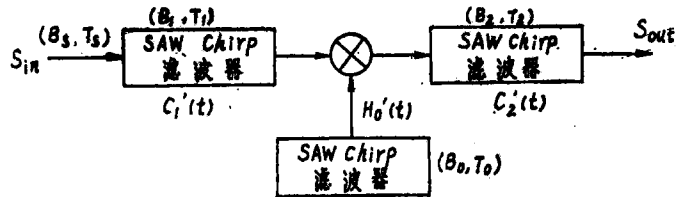


图3(b) C-M-C型chirp变换方框图

只要对这种付氏变换系统的结构稍加改变,就可以实现菲涅耳变换、哈特曼变换等功能。此外,也能对基带信号或中频信号甚至复函数信号进行处理,而且可以不间断地连续处理。这二种结构的chirp变换处理器性能参数范围示于图4。

用这种处理器可以组成通讯或雷达中的窄带干扰抑制系统,方框图如图5所示,它的动态范围达80dB以上。

利用 SAW chirp 变换器进行实时频谱分析,也是一项非常有前途的技术。其优越性在于<1>分析速度快,一般比数字分析系统高二个数量级;<2>时间带宽积大,系统处理能力强。这种系统的处理能力可用等效变换点数 M 来表征, $M = \mu T^2 / 2\pi$, μ 为chirp斜率,

表三 几种SAW卷积器典型参数

结构形式 参 数	声束压 缩型 (BWC)	Si/LN 气隙型			MZOS R ₁ 模	MZOS R ₂ 模	双向 放大	外部 二极管	三端对	LN 弹性卷积器
		小柱式	1	2						
中心频率 (MHz)	156	300	300	500	185	225	125	115—155	160	300
信号带宽 (MHz)	50	100	90	200	8	30	13.5×	13.5	30	100
声束宽 (mm)	0.11	0.75		0.71	1					0.076
时间带宽积	600	1000	2000	2400	28		280		300	1000
卷积效率 (dBm)	-71	-66	-70	-77	-58	-57	-8	-22~-33	-60	-70
最大输入功率 (dBm)		14								
最大输出功率 (dBm)				-42						
动态范围 (dB)	65	50	50	46	46×	65	65×		50	50
相互作用长度	cm	3.5				1.28				
	μs	10	22	12	3.5		7.5	37	12	10

— ∞ —

续 表

参 数	结构形式	声束压 缩型 (BWC)	Si/LN 气隙型			MZOS R ₁ 模	MZOS R ₂ 模	双向 放大	外部 二极管	三端对	LN 弹性卷积器
			小柱式	1	2						
波 纹 (dB)											0.5
旁办抑制 (dB)		40								30	>40
延迟线插损 (dB)				29~35	30	23					22
气 隙 (Å)			3000	5000	3500						
驻 波 比					< 6						
优 值 V-M/W		1.2 × 10 ⁻⁴ (LN)	5 × 10 ⁻³								
研制厂家		Thomson -CSF	MTI 林肯 实验室	Texas 仪器公司			Purdue 大学	Sptrvy 中心		Thomson 公司	

T为 chirp处理器时宽。目前这种系统的努力方向是提高处理能力和动态范围。如果把SAW chirp变换器和电荷耦合器件结合,就可以大大提高系统分辨力。

SAW/CCD系统在雷达MTI系统中的应用,具有体积小、结构简单、低功耗且可高速度实时显示等优点。

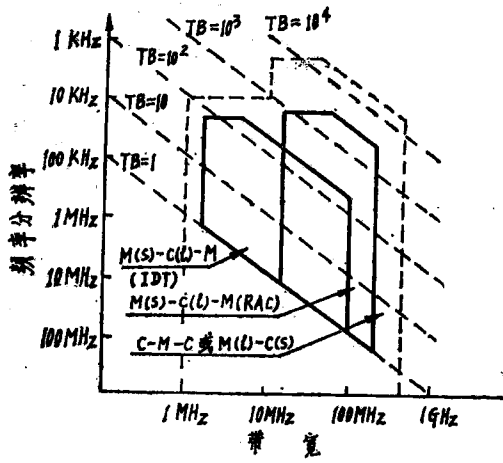


图4 SAW chirp变换处理器参数范围

信号对数倒频谱分析可用数字技术实现,但不能实时分析。如果采用二个 SAW chirp 变换及一个对数放大器,就可以很方便地组成对数倒频谱分析系统,如图 6 所示。图中第一个处理器将时间域变换为频率域,获得输入波形的频谱,经对数放大后,经第二个处理器由频域变换成时域(倒频域)。

这种系统可以确定未知时间信号的持续时间、二进制编码信号的码长与比特率、未知 chirp 信号的斜率、脉冲信号的重复周期等,而且还可以把已失真的回波信号复原为无失真的原始信号。这些功能在雷达、通讯、声纳及电子对抗系

统中可以用来进行信号分类、多路系统混响干扰环境下快速处理提取有用信号、低仰角搜索雷达多路混响情况下的解卷积、图相处理等。正因为如此,近年来对这一技术非常重视。

〈4〉. 可程序相关

可程序相关器也是雷达信号处理中的一项重要技术,其优点是能对一个信号群进行匹配滤波,无需高精度的雷达波形即可得到高分辨率的脉冲压缩。因为

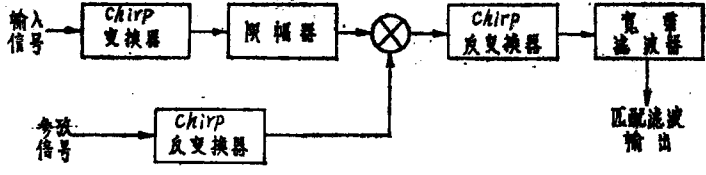


图5 窄带干扰抑制系统方框图

相关器的参考波形可以包括所需要的任何补偿。系统方框图如图 7 所示。两个相同的 chirp 变换处理器完成输入信号与参考信号的付里叶变换,参考信号的本振信号使参考信号产生频

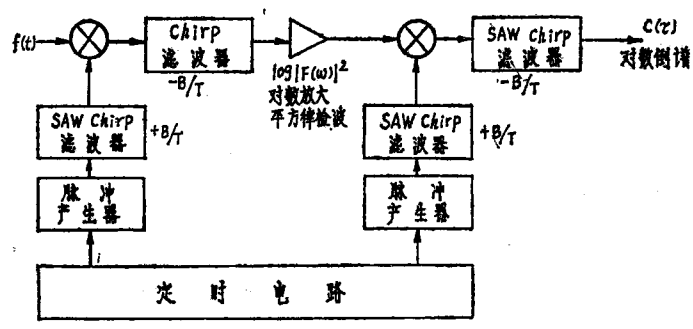


图6 SAW chirp 对数倒频谱分析系统方框图

移取出其差频,形成复数共轭信号,然后进行信号的后相乘。

SAW可程序相关存在的一个问题就是SAW器件的误差,当然,可用平衡相消法,用一个与雷达发送波形完全相同的SAW chirp滤波器响应作参考信号,这样, chirp 滤波器的任何误差可自行得到补偿。由于 chirp 予乘的误差是相等的分配

到输入信号支路和参考信号支路卷积滤波器,它们都是匹配的,这样,相关输出中引入的误差可减至最小,就只存在付里叶逆变换中SAW chirp滤波器的误差了。

chirp变换相关器具有一定的记忆能力,可以贮存参考信号,与延时后的回波信号相关,

记忆功能可用SAW重复循环延时来实现。

<5>. 色散恒虚警

恒虚警技术也是雷达抗干扰的重要技术之一。所谓恒虚警就是当外界干扰强度变化时,使雷达的虚警概率保持恒定的技术。地物杂波和人为干扰的强度通常可有几十分贝的

起伏,在自动检测雷达系统

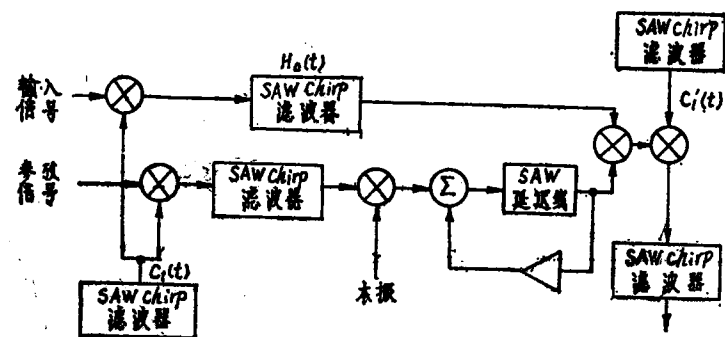


图7 SAW chirp变换可程序相关原理方框图

中,检测门限一定,干扰电平变化几分贝,虚警概率就会大大增加,使自动检测系统处于饱和状态。如果采用SAW色散恒虚警技术,其时间带宽积大、处理能力强、设备简单、可靠性好。其简单原理如图8所示。雷达中频信号经过SAW chirp展宽器后,变成线性调频信号,而干扰信号的相位一般具有随机性。展宽器的实际输出是线性调频信号和随机杂波干扰的迭加,在限幅器中一起被限幅,都被削到一个恒定值以下,而信号的相位结构没有发生任何变化,经压缩器之后,信号被恢复成原来的固定载频信号,其脉冲宽度为 $1/\Delta f$ (Δf 为目标信号带宽),理论上,目标回波信号电平被提高了 $\sqrt{D}$ 倍 (D 为展宽信号的时间带宽积),远高于被限幅了的噪声信号电平。适当选择检测门限电平,可达到滤除噪声的目的。

表四 各种付里叶变换处理器性能比较

处理器种类	性能	每单位成本 等效乘法器数目
小型计算机FFT	1024点变换, 512ms	1
微处理器FFT	1024点变换, 237ms	4
硬件FFT	1024点变换, 16ms	30
CCD, CZT	256点变换, 500 μ s	1000
SAW IDT滤波器	100点变换, 25 μ s	3000
SAW RAC滤波器	3600点变换, 60 μ s	14000
光学	8000点变换 1ms 8000并行通道	64000

<6>. Doppler 信号处理

SAW/CCD Doppler 信号处理技术是一项新的模拟信号处理技术,随着微细加工技术的发展,CCD和SAW器件的性能都有很大的提高,因此,SAW/CCD Doppler 处理技术是数字式处理技术潜在性竞争技术,已逐步达到实用化。

CCD存储器以模拟电荷量方式对雷达视频输出采样和贮存,一旦所需要的模拟采样数值已收集好,就可在SAW器件的脉宽内快速读出。在这里CCD起到一个时间压缩的作用,把

较低的Doppler频率的信号压缩成与SAW器件工作频率相匹配的信号，SAW chirp展宽/压缩系统实现接近实时的付里叶变换。这样，它就能使chirp处理单元以时分割方式处理许多

数据通道。在这里，时间压缩贮存的读出是破坏性的，以便为新的采样数据空出位置，因为全部处理是在信号通过压缩

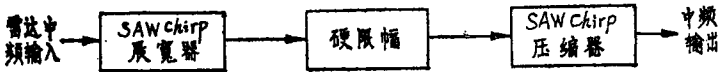


图8 SAW色散恒虚并系统方框图

器时一次完成的。由于SAW压缩滤波器的输出信号时间位置与频率成正比，这样，压缩脉冲在输出端出现的时间就与Doppler频移成正比，其幅度和采样的输入时间序列的每一个谱分量成正比。它合成的滤波器数目与压缩系统的时间带宽积成正比。如果对展宽脉冲进行加权（频率、幅度），以降低压缩脉冲的时间旁瓣，将有利于改善雷达的信噪比。其原理方框图9。

〈7〉. 区域相关技术

目标区域相关技术已经用于美国的潘兴II雷达，是导弹末制导系统的关键部件，在导弹飞行的末段将雷达视频回波图象同存贮在制导和控制系统

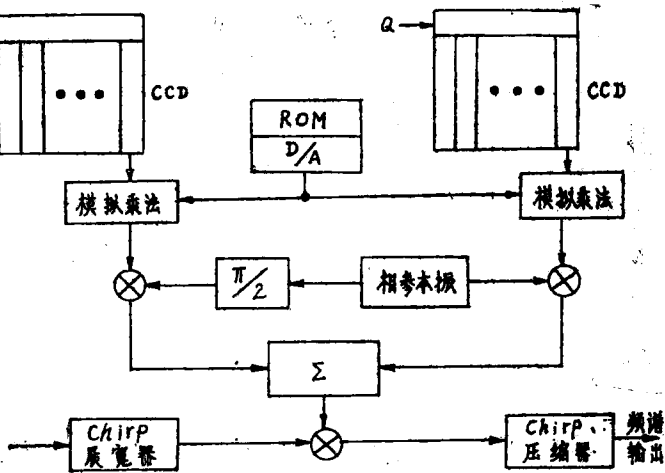


图9 SAW/CCD Doppler信号处理器方框图

中的目标区域的雷达参数逐点相关比较，以便确定位置误差，将其误差信号送入弹上接收机，修正惯性制导系统，然后将适当的指令送入舵控系统，引导再入准确地飞向目标。在这项技术中，CCD做为新式固体彩色摄影机的传感器件发挥了重要作用。其优点体积小、重量轻、高可靠、长寿命、灵敏度高、动态范围大、功耗低、靶面耐烧灼等。不仅在导弹末制导方面起了关键作用，而且还适用激光、可见光及红外光摄影，用于遥感遥测、侦察、仿真和测量等技术领域。

固体彩色摄影技术刚进入实用化阶段。自从1969年秋发明了CCD之后，经过三年左右，贝尔实验室首先用三个100×100像素的CCD片做出了低分辨率的彩色摄影机。1974年又制出了256×288像素的CCD黑白和彩色摄影机。1975年RCA公司做出了世界上第一个NTSC制式的用三个行间转移方式的512×320像素的彩色摄影机，日本NHK总技研和日本电气公开展出了用三个242×228像素的CCD传感器做成的彩色摄影机。1977年日本索尼公司发表了开窗口帧转移型和镶嵌式之字形转移的两个三片式CCD彩色摄影机。1980年制成机载二片式CCD彩色摄影机，而且在全日本航空公司的波音747飞机上使用，作为起飞和着陆时给乘客作观察用。日本各种固体彩色摄影机的性能见表五。

固体摄影器件应具有三个功能，即光电变换、光生电荷积累及扫描功能。

CCD成象阵列和微处理器联合使用可以制出一种完全新型的星跟踪器。CCD的固有特点

特别有利于高精度星跟踪器的设计，其最主要的一个特点就是CCD本身的测量准确性，因为每个CCD像素在片子上都有准确的位置，且不受外部环境的影响，从而消除了复杂的对准过程。它能同时跟踪视场内的多颗恒星，给出很高的定向精度和稳定性，提供自主式计算能力。

表五 日本各种固体彩色摄相机参数表

厂 家	日 立	松 下	东 芝	索 尼	夏 普	日 电
结 构	MOS	CPD	CCD	CCD	CCD	CCD
驱动方式	2相 移位寄存器	引动转移	2/4相 行间转移	2/3相 帧转移	2相 行间转移	2相 行间转移
像素数 (水平×垂直)	384×485	404×492	400×492 400×500	570×490	385×488 390×490	384×490
芯片尺寸 (mm×mm)	10×8.5	11.7×8.6	9.9×7.6	10.1×12.1	14.2×11.2 10×8.4	14.4×11.0
光学系统 (感光区面积)	相当2/3英寸 (8.8× 6.6)mm ²	同左	同左	同左	相当1英寸 相当2/3英寸	相当1英寸 (12.7× 9.6)mm ²
单位像素间距 (μm)	23×13.5	24×14	22×13	16×14	34×20 23×13.5	33×20
滤色器	W、C _r 、Y _e 、G 点、单片	R、G、C _r 色差顺 序贴合	R、G、B、 镶嵌贴合	R、G、C _r 带状贴合	R、G、B 镶嵌贴合	R、G、B 镶嵌贴合
水平分辨率 (TV条)	260	250	250	250	280/260	250
灵敏度 (F1.4)	500lx 最低100lx	150lx —	350lx/200lx 最低50lx	190lx —	— 最低60lx	150lx 最低85lx (F2.8/N 35dB)
N/s (随机噪声)	46dB	46dB	46dB	46dB	—/50dB	46dB

注：W(白)，C_y(兰绿)，Y_e(黄)，G(绿)，R(红)，B(兰)

对于空间飞行器导航跟踪系统来说，通常要求在很宽的目标星亮度范围内（例如可高达10个星等）工作，最有效的解决办法就是选择光积累时间（读出之前对星光的曝光时间）。光生电荷的的积累与积累时间成线性关系，但在收集光生电荷时也收集了热生暗电流电子，这是一种散弹噪声，为了消除它的影响，必须把CCD探测器致冷到-40℃以下，就可以使边长为1密耳的单元暗电流产生率降到 1×10^3 电子/秒，相对于满井容量来说可以忽略不计，这就保证了每个像素信号的动态范围。

总之，特种器件在雷达中的应用十分广泛，以上列举的只是其中一小部份，其它如MTI、自适应滤波、可程序带通滤波、可程序延时、SAW传感、集成光学技术等都没有介绍，就是所涉及的几种器件，如SAW放大（包括参量放大）、混频、鉴频、CCD的视频处理、CCD自适应匹配滤波、SAW/CCD与数字技术组合及多种功能器件的单片集成等，也没有作进一步介绍。随着科学技术的发展，特别是微细加工技术的进步，特种器件一定会有新的突破，性能好、威力大、自适应性强、机动性好、轻便可靠的新一代雷达一定会很快诞生。

3. 特种器件在电子战技术中的应用

随着国际上电子战的加剧，各种新型电子设备层出不穷，电子战设备的市场增长率也十分惊人。据报告，1980到1986年美国电子战设备市场年均增长率为14.5%，其中有关的微波元、器件和装置、遥控飞行器及特种器件装置将有大幅度增长。美国在电子战方面的总投资将从1980年的十七亿二千万美元增加到1986年的三十八亿三千万美元，特别是光—电对抗系统，预计年均增长率将达22%，之所以如此，主要原因是世界各军事大国特别是美苏两国都在拚命研制先进武器，光电和激光装置应用于军用武器系统的成效日益显著，各种新技术尤其是超大规模集成电路、微波毫米波技术及特种功能器件的迅速发展，加上使用遥控飞行器完成各种电子战任务的客观需求和现实可能都在增加。

电子战的重要技术之一，就是高级的自适应信号处理技术，包括雷达电子侦察和电子支援措施。

和平时期收集的情报，可积累成一个资料库作为战时电子支援措施之一。在交战之前将敌方无线电发射机按威胁的程度加以分类。这就要求电子侦察系统响应速度要快、频率复盖要宽、准确地进行目标回波的信号分类等。要求ESM具有对付同时到达的脉冲信号的功能，必须适应在许多ECCM编码雷达的密集信号环境中工作，这些要求大大推动了声光Bragg器件、SAW器件和CCD的发展，为电子战设备提供一些高级新技术。

〈1〉. 通道化接收机

采用高机电耦合系数的铌酸锂基片制成具有集成式多路转换开关的SAW滤波器组，它

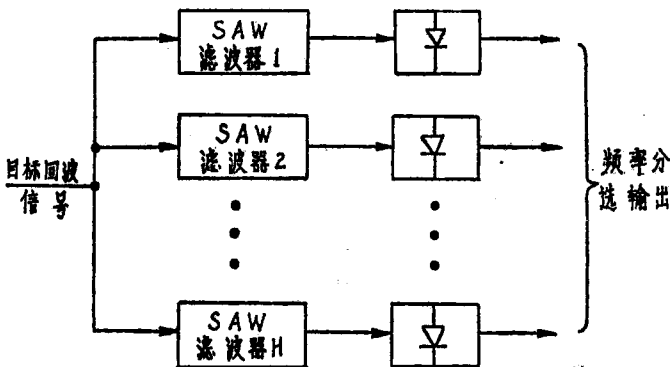


图10 通道化接收机滤波器组方框图

对脉冲输入信号的响应比一般的最小相位LC滤波器要优越得多，其中各滤波器中心频率各不相同，其频率响应依次邻接，它们以并行的方式接收目标回波信号，进行频率分选，滤波器输入信号的采样速率接近于滤波器带宽的倒数，可以直接测量输入频率。滤波器组可采用多条耦合器获得整体的组合件。考虑到总插损和放大器的要求及输入到各滤波器的分路问题，在很大程

度上限制了每个组件中滤波器单元的最多数目，目前，一般为32个，如图10所示。

国外用SAW器件制造的通道化接收机滤波器组的几个典型组件参数如表六所示。