

评论

0

分享

微信分享

新浪微博

QQ空间

复制链接

70万总阅读

章>

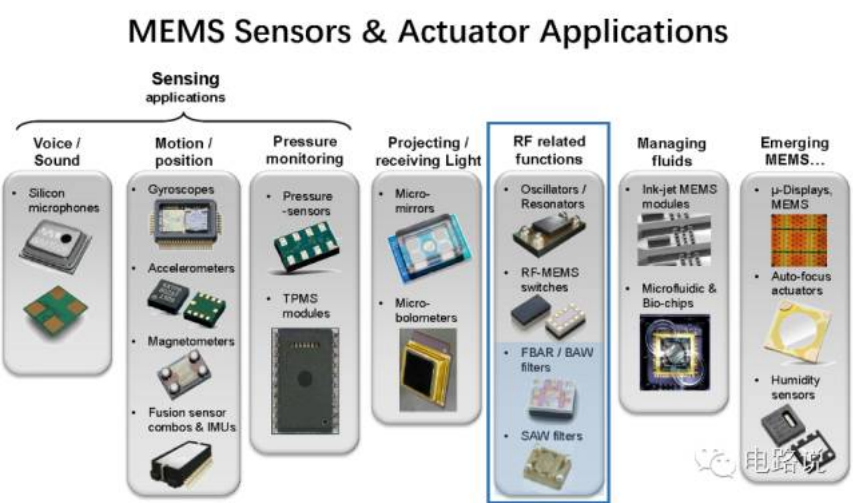
# 深入剖析SAW, BAW, FBAR滤波器

2017-01-19 18:37

很多通信系统发展到某种程度都会有小型化的趋势。一方面小型化可以让系统更加轻便和有效，另一方面，日益发展的IC制造技术可以用更低的成本生产出大批量的小型产品。

MEMS(MicroElectromechanical System)是这种小型产品的相关技术之一。MEMS可以检测环境的变化并通过微型电路产生相关反应。MEMS的主要部分包括sensor(微传感器)或actuator(微执行器)和transducer(转换装置)，其中sensor可以检测某种物理，化学或生物的存在或强度，比如温度，压力，声音或化学成分，transducer会把一种energy转换成另外一种(比如从电信号到机械波)。

目前MEMS被广泛的利用在多个领域里，如下图。



这篇文章主要说说MEMS的几种RF相关应用产品SAW,BAW, FBAR filter，也是目前手机中最常用的几种filter。

SAW,BAW和FBAR中，A都代表着Acoustic。Acoustic wave中文翻译成声波，声波按频率分成3段，audio,infrasonic(次声波)和ultrasonic(超声波)。

Audio的频率为20Hz ~ 20KHz, 是人耳能听见的范围。

Infrasonic(次声波)是低频率，20Hz一下，人耳听不到，可以用来研究地理现象(比如地震)。

Ultrasonic(超声波)是20KHz到109KHz，也是人耳听不到的范围。

下面提到的声波都是超声波的范围，首先我们看看SAW filter。

## Surface Acoustic Wave(SAW) filter

简而言之，SAW是一种沿着固体表面(surface)传播的声波(acoustic wave)。

基本的SAW filter由压电材料(piezoelectric substrate)和2个Interdigital transducers(IDT)组成，如下图。

erp软件排行

大家都在搜：王彦

24小时热

1

2

3

for recon

透水地坪

## 热门精选

又一个新版“奶茶妹”火了，气路带风，网友：不太协调

换新手机为何不建议128GB？业内人士告诉你...

任正非的...与他离婚...

DIY游戏鼠标彰显自我个性，因科特one模...

中芯两次...消息,对7n

贵阳必去景点

## 24小时热文

1

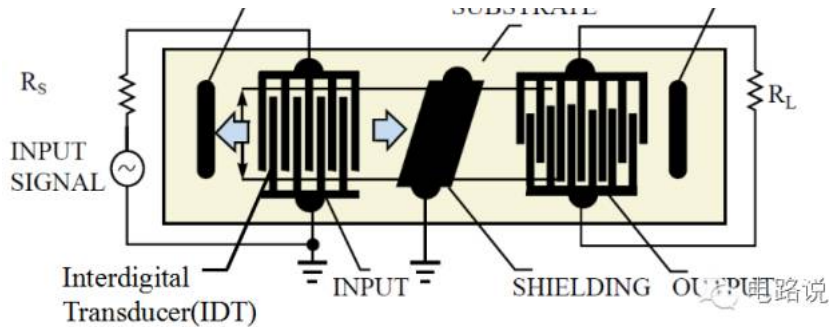
宝马占车位被路虎车主在车内放14478万 阅读

2

高颜值聊天交友，：过！190万 阅读

- 评论
- 分享
- 微信分享
- 新浪微博
- QQ空间
- 复制链接

- 新闻
- 体育
- 汽车
- 房产
- 旅游
- 教育
- 时尚
- 科技
- 财经
- 娱乐
- 更多



IDT是由交叉排列的金属电极组成，上图中左边的IDT把电信号(electrical signal)转成声波(acoustic wave)，右边的IDT把接收到的声波再转成电信号。

电信号和声波(属于mechanical wave)之间转换也称为electromechanical coupling。

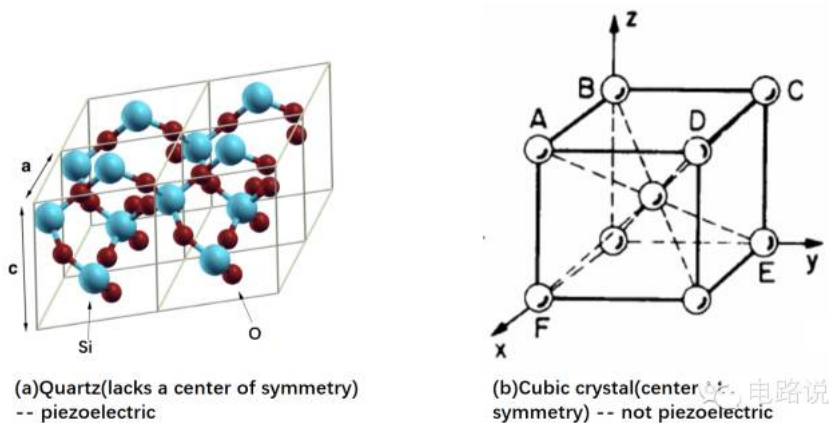
那IDT是怎么把电信号转成声波呢？原因在于IDT下方的压电材料。

### 压电(piezoelectricity or piezoelectric effect)

Piezoelectricity这个词来源于希腊语 piezein，表示施加压力，1880年由两位法国物理学家 (Pierre, Paul-Jacques Curie)发现。压电是指某些晶体(Crystal)受到外部压力时会产生电压，相反地，如果某些晶体两面存在电压，晶体形状会轻微变形。

为什么会发生这种现象？

首先说晶体，科学意义上的晶体指其原子或分子在三维空间内以非常有规律地排列，而且隔一段距离重复着unit cell(基本组成单元)的固体，比如食盐和糖也是晶体。大部分晶体的unit cell原子排列是对称的(with a center of symmetry)，不管有没有外部压力，基本单元里的net electric dipole始终是零，而压电晶体的原子排列是不对称的(lacks a center of symmetry)。



压电晶体原子排列虽然不对称，但正电荷(positive charge)会和附近负电荷(negative charge)相互抵消(更确切是electric dipole moments相互抵消)，所以整体的晶体不带电。当晶体受到压力时外形会变化，一些原子间距离会变得更近或者更远，打乱了原来保持的平衡，出现净电荷(net electrical charge)，晶体表面出现positive charge和negative charge。这种现象称为压电(piezoelectric effect)。



3

班, 值得八级心级

66%

24小时热

塔投

31%

1

山警

86%

2

3

' for recon

全息投影

### 搜狐号推荐

- 虎嗅APP**  
聚合优质的创新信息和人群！  
创新创业生产与海选多领域里
- 雷帝触网**  
关注互联网行业动态，大爆  
互联网行业融资，行业整合并
- 爱范儿**  
数字公民的糖
- 虎龙吟**  
资深互联网专家，著名互联网  
台自媒体KOL。
- IT之家**  
IT之家是业内领先的即时IT资  
网站。IT之家快速精选泛科技



评论

0

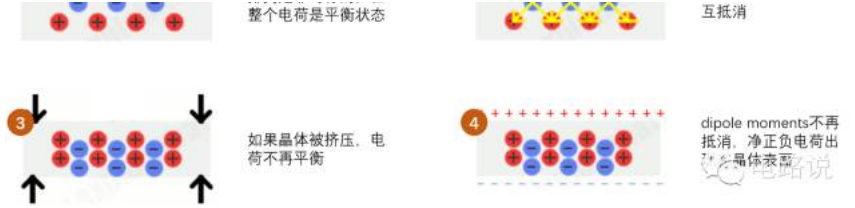
分享

微信分享

新浪微博

QQ空间

复制链接

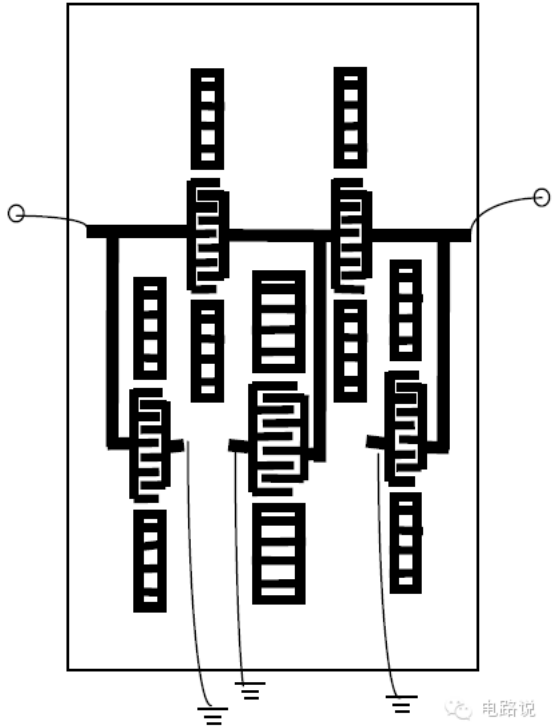


相反地，晶体两端加电压时原子受到“electrical pressure”，为了保持电荷的平衡，原子来回震动使压电晶体形状轻微变形。这种现象称为reverse-piezoelectric effect。

石英(quartz)是很常见的压电材料，我们平时生活中使用的石英表也利用了石英的压电特性。纽扣电池给手表里面的电路供电，电路会让石英晶体精确的震荡(震动)32768次/秒，再把震荡转成一次/秒的脉冲，脉冲再驱动小型电机进而转动齿轮(指针)。

SAW filter常用的压电材料有LiTaO3, LiNbO3, SiO2等。其基本结构中左边IDT交叉排列的电极之间交流电压产生压电材料的mechanical stress并以SAW的形式沿着表面传播，而在垂直方向上SAW幅度快速衰落。右边的IDT也是同样结构，只是接收SAW，输出电信号。中间部分的shielding会影响输入和输出之间的耦合(coupling)，关系到通带内的幅度ripple和群时延(group delay)。

SAW filter也可以用ladder type(串并组合)，如下图。



SAW的频率可以大致参考以下公式: $F = V/\lambda$

V是SAW的速率(velocity)，大概3100m/s, λ是IDT电极之间间距。



erp软件排行

式可以看出，频率越高IDT电极之间间距越小，所以SAW filter不太适合大约2.5GHz以  
频率。另外很小的间距(高频率)下电流密度太大(高功率)会导致电迁移  
ctromigration)和发热等问题，当然，通过一些方法(IDT材料的改进等)也可以弥补这

24小时热

- 1
- 2
- 3
- ' for recon

## 评论

O

分享

微信分享

新浪微博

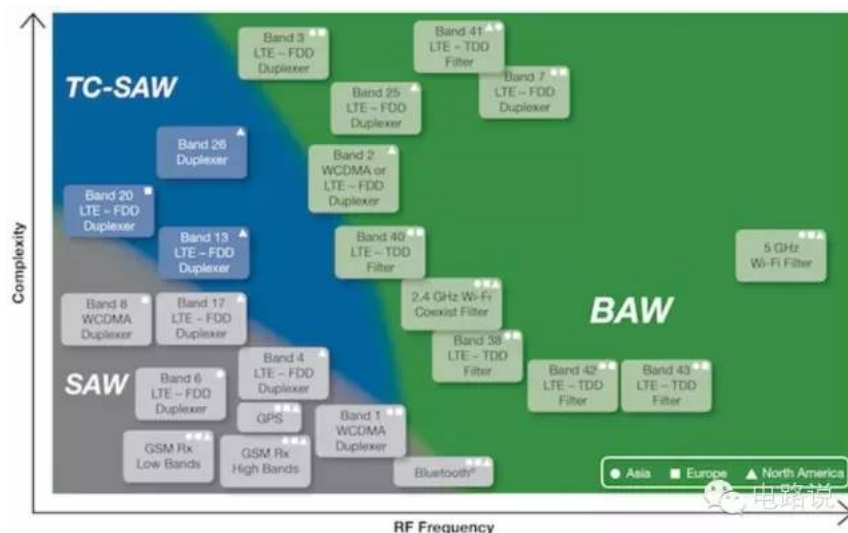
2Q空间

复制链接

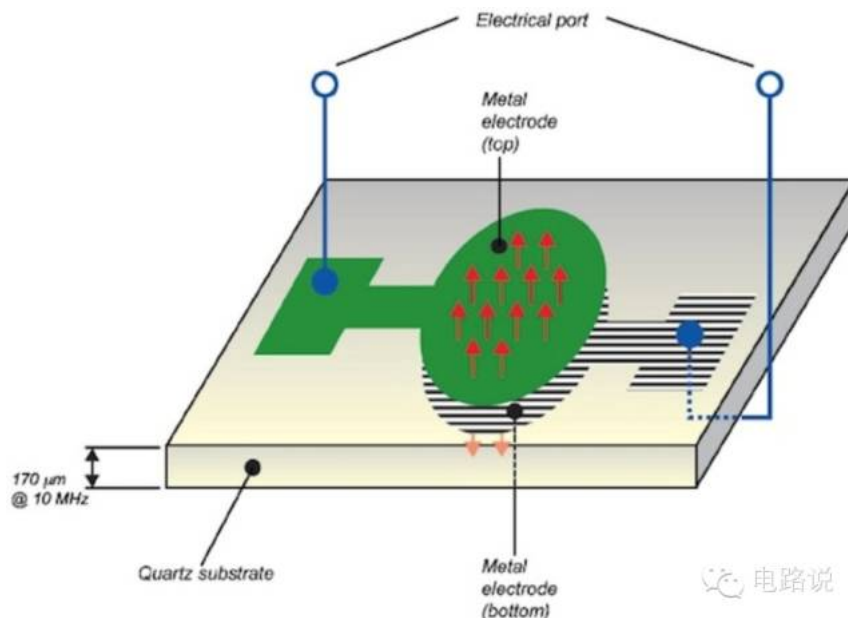
SAW filter就是为了改善温度性能，ID1上增加了保护涂层。普通的SAW filter频率温度系数(TCF, temperature coefficient of frequency)大约-45ppm/oC左右，而TC-SAW大约-15到-25ppm/oC。增加的涂层使工艺变得复杂，成本也增加，不过相对BAW filter还是便宜一些。

### Bulk Acoustic Wave(BAW) filter

相比SAW filter, BAW filter更适合于高频率。跟SAW/TC-SAW filter一样, BAW filter的大小也随着频率增加而减少。另外, BAW filter有对温度变化不敏感, 插入损耗小, 带外衰减大 (steep filter skirts)等优点。



与SAW filter不同，声波在BAW filter里是垂直传播。从名字也可以看出，SAW是surface，沿着表面传播，BAW是bulk，物体内部传播。



V filter的最基本结构是两个金属电极夹着压电薄膜(Quartz substrate在2GHz下厚度为1μm), 声波在压电薄膜里震荡形成驻波(standing wave)。

把声波留在压电薄膜里震荡，震荡结构和外部环境之间必须有足够的隔离才能得到最小和最大Q值。声波在固体里传播速度为~5000m/s，也就是说固体的声波阻抗大约为空气25倍，所以99.995%的声波能量会在固体和空气边界处反射回来，跟原来的波(incident

## 24小时热

1

2

3

' for recon

●清作6名學生在貴河堤坝内玩耍失聯的情。

[illegible]



评论

0

分享

微信分享

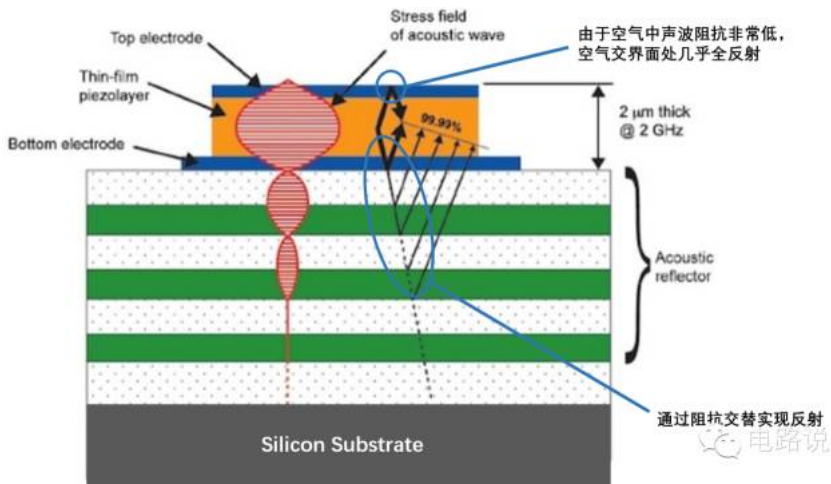
新浪微博

QQ空间

复制链接

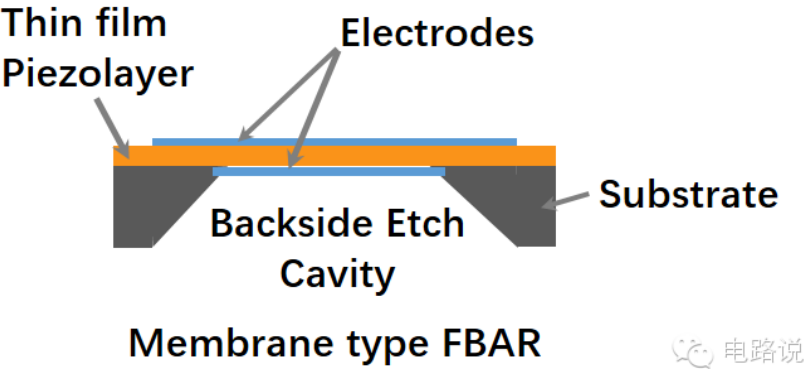
别个不，所以个能把压电层直接deposit(沉积)在Si衬底上。

有一种方法是在震荡结构下方形成Bragg reflector，把声波反射到压电层里面。Reflector由好几层高低交替阻抗层组成，比如第一层的声波阻抗大，第二层的声波阻抗小，第三层声波阻抗大，而且每层的厚度是声波的 $\lambda/4$ ，这样大部分波会反射回来和原来的波叠加。这种结构整体效果相当于和空气接触，大部分声波被反射回来，这种结构称为BAW-SMR(Solidly Mounted Resonator)，如下图。



还有一种方法叫FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator), 包括Membrane type和Airgap type。

Membrane Type是从substrate后面etch到表面(也就是bottom electrode面)，形成悬浮的薄膜(thin film)和腔体(cavity)。



Membrane type类似于BAW resonator的基本模型，两面都是空气，由于空气的声波阻抗远低于压电层的声波阻抗，大部分声波都会反射回来。不过薄膜结构需要足够坚固以至于在后续工艺中不受影响。相比BAW-SMR，membrane type

较少一部分跟底下substrate接触，不好散热。

Airgap type在制作压电层之前沉积一个辅助层(sacrificial support layer)，最后再把辅助层去掉，在震荡结构下方形成air gap。



erp软件排行

24小时热

1

2

3

' for recon

本系列内容由学生负责编写，内容仅供参考，不作为任何商业用途。如有错误或侵权，请联系删除。

评论

0

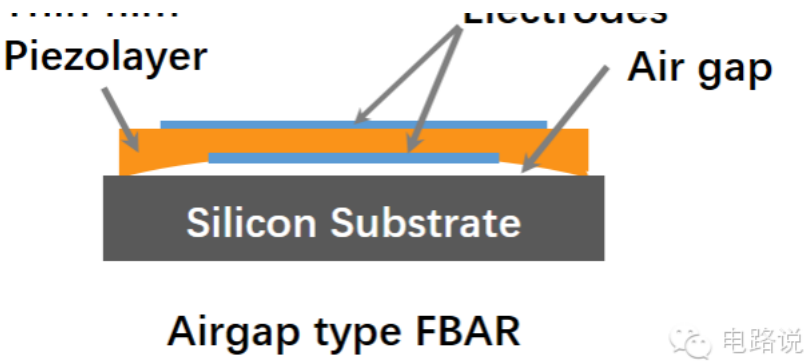
分享

微信分享

新浪微博

QQ空间

复制链接

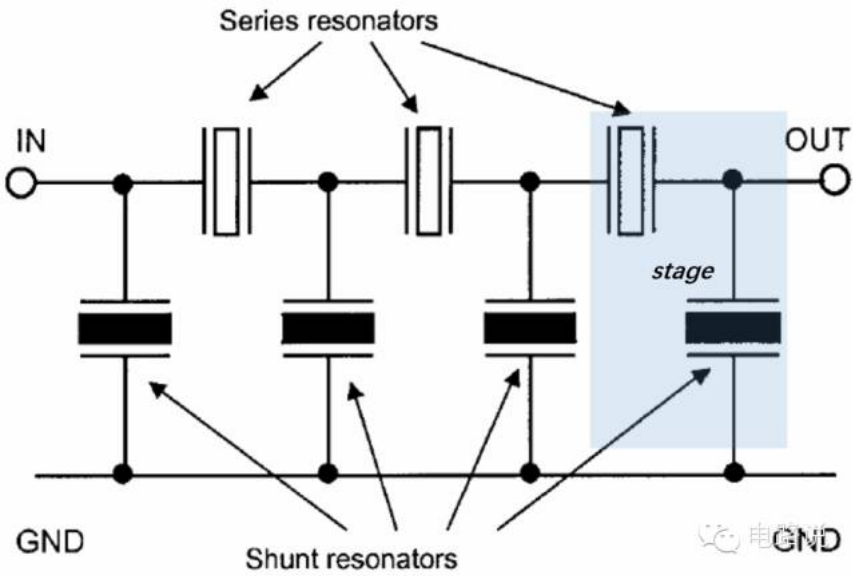


因为只是边缘部分跟底下substrate接触，这种结构在受到压力时相对脆弱，而且跟membrane type类似，散热问题同样需要关注。

BAW filter种类

BAW filter可以把多个resonator按一定拓扑结构连接。BAW filter有多种类型，包括ladder type filter, lattice type filter, stacked crystal filter和coupled resonator filter。这里只简单介绍ladder type和lattice type。

Ladder type(SAW最后也提过)使用的resonator包括串联和并联，一个串联的resonator加一个并联的resonator称为一个stage，整个ladder type filter可以由好几个stage组成。



了解ladder type filter的工作原理之前我们再看看BAW resonator的基本模型，如下图。



erp软件排行

评论

0

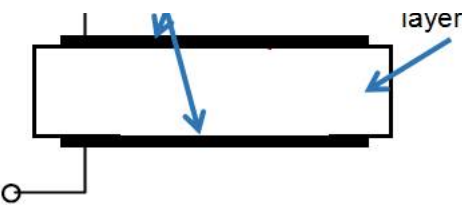
分享

微信分享

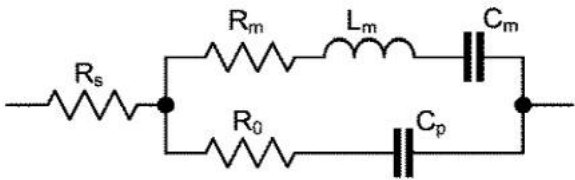
新浪微博

QQ空间

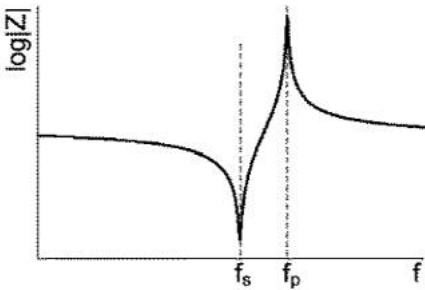
复制链接



(a) BAW resonator 基本结构



(b) Modified Butterworth-Van-Dyke 等效电路



(c) Impedance vs frequency

电路说

典型的基本结构如上图(a)，上下金属电极中间夹着压电层，对应的mBVD等效电路如上图(b)，对应的阻抗如上图(c)，可以看出有两个resonance频率，串联( $f_s$ )和并联( $f_p$ )。工作原理如下图。

24小时热

- 1
- 2
- 3
- ' for recon

系统内所有学生及教师课程内信息数据均按照...

erp软件排行

评论

0

分享

微信分享

新浪微博

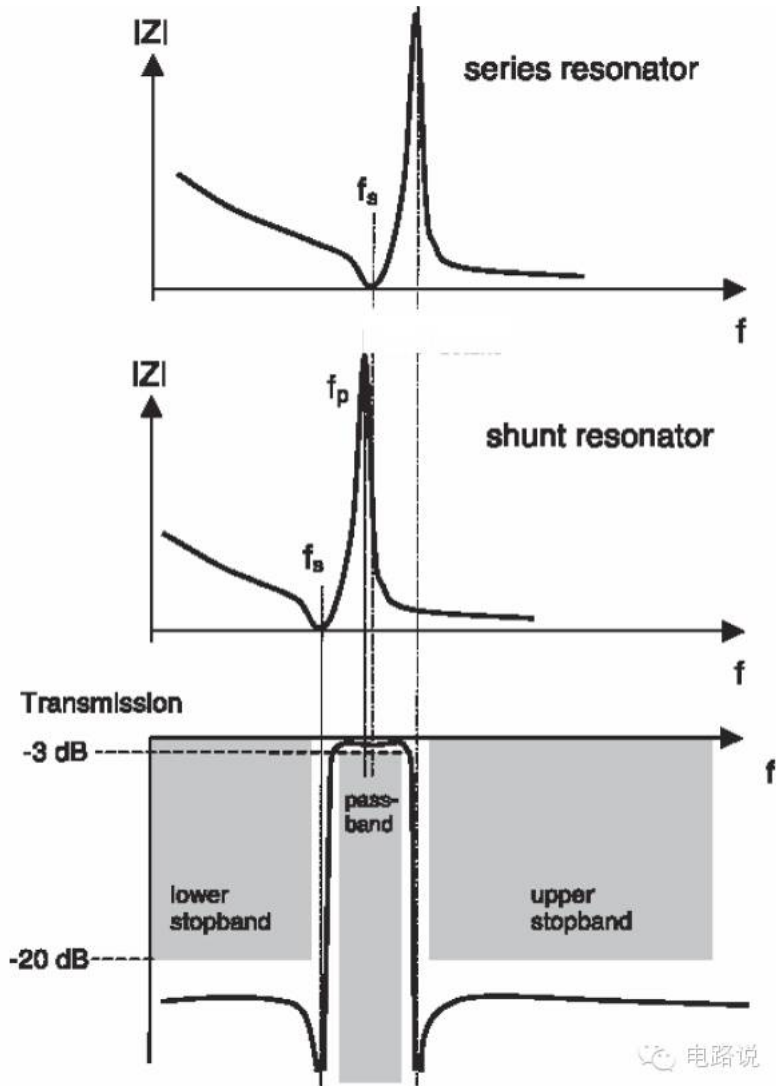
QQ空间

复制链接

24小时热

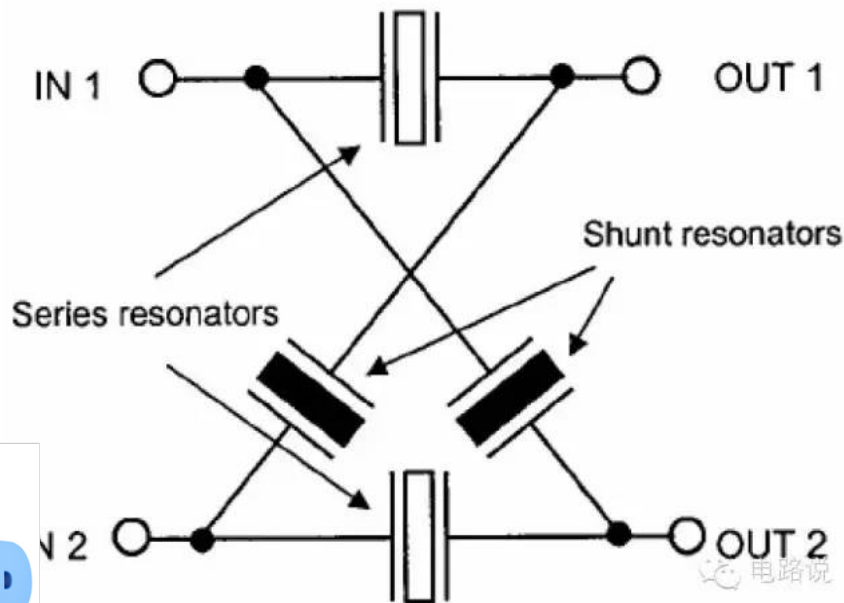
- 1
- 2
- 3
- ' for recon

本系列文章旨在帮助读者了解并掌握滤波器设计



在通频带(pass band)上，series resonator  $f_s$  阻抗很小，保证信号通过，shunt resonator  $f_p$  阻抗很大，阻止信号通过。

Lattice filter中每一个stage有4个resonator，包括2个串联和2个并联，基本模型如下图。





erp软件排行



评论

- O
- 分享
- 微信分享
- 新浪微博
- QQ空间
- 复制链接

type更适合台用仕差分(balanced)信号上。

BAW filter常用的压电材料

石英(quartz)作为常见的压电材料，在高电压和高压力的情况下表现出线性反应，但还没有合适的方法把石英做成薄膜deposit在Si衬底上。合适的BAW压电材料需要high electromechanical coupling coefficient, low electromechanical loss, high thermal stability, 还要符合IC工艺技术。

目前最常用的BAW压电材料有AlN(aluminum nitride), PZT(lead zirconate titanate), ZnO(zinc oxide)。

关于波(wave)

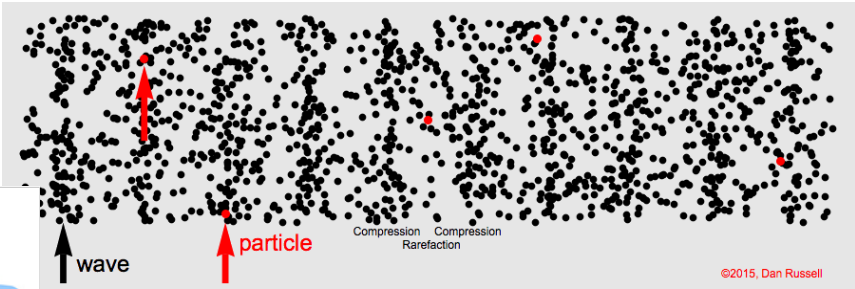
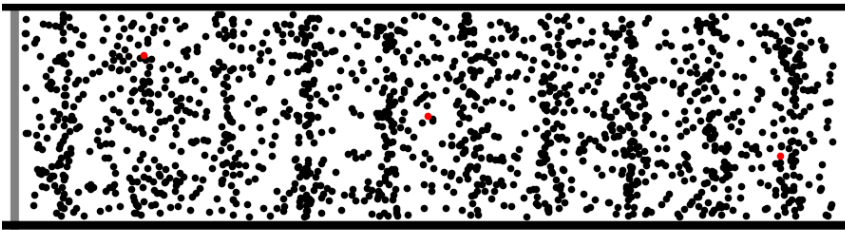
物理上，波主要分为两种，一种是电磁波(electromagnetic wave)，这种波不需要任何媒介，而是通过由最初的带电粒子产生的电场和磁场的周期性震荡来传播，所以在真空中也可以传播。无线电波(radio wave)，微波(microwave)，可见光，X射线，伽马射线都属于电磁波。

还有一种是机械波(mechanical wave)，通过媒介(固体，液体或气体)传播，而且媒介的物质会变形。比如声波在空气中传播时，空气分子会跟周围的分子互相碰撞着进行不断的传播。

机械波有两种基本的wave motion; longitudinal(compressive) wave(纵波)和transverse wave(横波)。

- Longitudinal(compressive) wave(纵波)

在纵波中，粒子的运动方向和波的传播方向是平行的，不过每个粒子不会沿着波的方向移动，只是在各自的平衡状态上前后震动，如下图。





erp软件排行

24小时热

- 1
- 2
- 3

' for recon

系统内所有学生在其可访问范围内均具备访问权限

评论

0

分享

微信分享

新浪微博

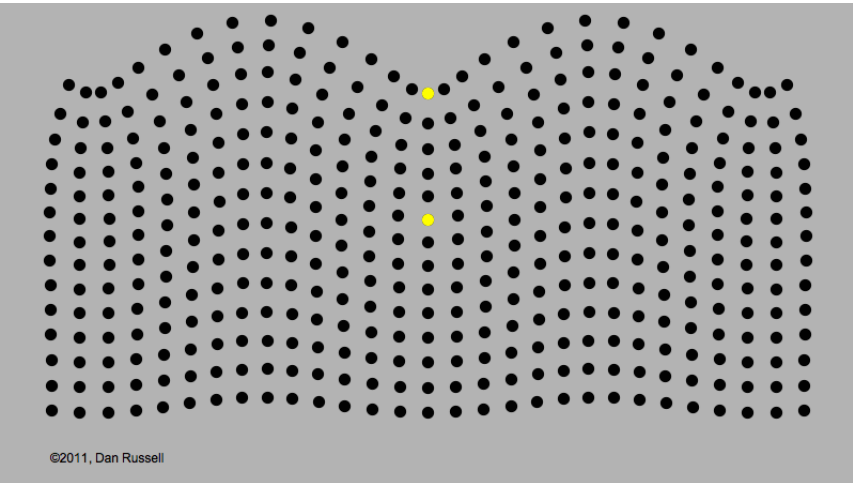
QQ空间

复制链接

只是在各自的平衡状态上下震动，如下图。

之前在本文提到的BAW- SMR和FBAR filter图中，声波都以纵波(longitudinal)形式传播，即粒子震动方向和波的传播方向是平行的。也有不同结构，声波以横波(transverse)形式传播。

而对于SAW，也叫Rayleighsurface wave，既有纵波也有横波。固体中粒子以椭圆轨迹震动，椭圆的长轴垂直于固体表面，随着固体深度越深，粒子运动幅度越小。



REVIEW

- 1. MEMS是一种小型的器件或结构系统，其中可能包括集成的机械器件和电子器件，感应及时的或者局部环境变化；或者有相应信号输入时，对及时的或者局部环境做出某种物理上的交互动作。
- 2. 某些晶体(Crystal)受到外部压力时会产生净电荷，称为piezoelectric effect；相反地，晶体两端加电压时原子受到“electrical pressure”，为了保持电荷的平衡，原子来回震动使压电晶体形状轻微变形。这种现象称为reverse-piezoelectric effect。石英(quartz)是一种常见的压电晶体。
- 3. SAW是一种沿着固体表面传播的声波。SAW filter基本结构由IDT和压电材料组成，IDT和压电材料把电信号转成机械波(声波)，再把机械波(声波)转成电信号。TC-SAW是为了改善温度性能，增加了保护涂层。
- 4. 相比SAW filter, 声波在BAW filter物体内部传播(纵波或横波)。BAW filter结构有BAW - SMR, FBAR(membrane type和airgap type)。

BAW filter更适合于2.5GHz以上的频率，BAW filter的制造工艺也非常符合现有的IC制造工艺，适合和其他的active电路做整体的integration。

微波射频行业人士 | 相聚在这里

erp软件排行

【0大细分领域的微信技术交流群】

微波射频网已建立射频、天线、雷达、毫米波、手机射频、RFIC、功放、SDR等细分领域技术交流群，提供一个互相交流的平台，促进技术进步。长按识别下方二维码加群主，说单位+技术方向，邀请您加入相应技术群！

24小时热

1

2

3

' for recon

本系列由知名学生在其博客中发表并经作者审核

评论

0

分享

微信分享

新浪微博

QQ空间

复制链接


1. FABRICATION AND CHARACTERIZTION OF ALN THIN FILM BULK ACOUSTIC WAVE RESONATOR, Qingming Chen, 2006
2. What is SAW Filters, Token, 2010
3. MEMS Everywhere.pdf, Yole,
4. <http://www.edn.com/design/wireless-networking/4413442/SAW--BAW-and-the-future-of-wireless>
5. <http://mems.usc.edu/fbar.htm>
6. <http://www.explainthatstuff.com/piezoelectricity.html>
7. <http://www.explainthatstuff.com/quartzclockwatch.html>
8. <http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html>
9. SiP/SoCIntegration of RF SAW/BAW Filters, Ken-ya Hashimoto, Chiba University
10. A Study on Baw Technology: Reconfiguration of FBAR Filter, Shivani Chauhan1 Paras Chawla2
11. Bulk Acoustic Wave Devices – Why, How, and Where They are Going, Steven Mahon 1 and Robert Aigner
12. Lattice FBAR Filters: Basic Properties and Opportunities for Improving the Frequency Response, Ivan Uzunov1, Dobromir Gaydazhiev2, Ventsislav Yantchev
- [返回搜狐](#), [查看更多](#)

声明：该文观点仅代表作者本人，搜狐号系信息发布平台，搜狐仅提供信息存储空间服务。


首赞

阅读 (5194)


大家都在看




你以为“偷”看成人网站，别人不知道？其实早已人尽皆知




智能眼镜报价




“情趣用品第一股”来了！80后夫妻天猫开店，一年卖了10多亿



家发现第二个地球，距离遥远，就怕已经有人在上面了



霸道女司机堵宝马160天，要求宝马车主赔狗命，引发全网...



当初把饿了么卖给马云，从阿里拿走665亿的年轻人，过得...



erp软件排行

24小时热

1

2

3

' for recon

本页面包含学生信息请勿随意传播否则后果自负

评论

0

分享

微信分享

新浪微博

QQ空间

复制链接



3位宇航员永远沉睡在太空，只有他飘过了冥王星，即将飞...



“军队文职”招聘遇冷，薪资高待遇好却无人问津，原因现实...



# 渔民求帮忙，万斤野生海参无人问津 上千元卖出“白菜价”

广告

我来说两句

0人参与，0条评论

来说两句吧.....

登录并发表

搜狐“我来说两句” 用户公约

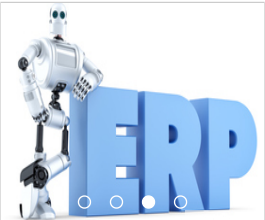
推荐阅读

## 24小时热

- 1
- 2
- 3

' for recon

系统内社会学生在实习期间因违规违纪被开除的通报



erp软件排行