

## 共线声光器件中叉指换能器的频响分析

巫柳\* 杨亚培 周愚 戴基智 李晓惠

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

【摘要】从叉指表面基本电荷分布函数出发,分析了共线声光器件中叉指换能器的频率响应,得到了其特性曲线,并与用 $\delta$ 函数模型分析得到的曲线进行了比较,为叉指换能器的分析提供了一条可行的途径。

关键词 声表面波; 叉指换能器; 基本电荷分布函数

中图分类号 O421.5 文献标识码 A

## Analysis of Frequency of Interdigital Transducer in Collinear Acoustic-Optical Apparatus

Wu Liu Yang Yapei Zhou Yu Dai Jizhi Li Xiaohui

(State Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** The analysis of interdigital transducer is important in surface acoustic wave. We usually used  $\delta$  function model before. Based on the basic charge distribution function, in this thesis we obtain the frequency curve of interdigital transducer in collinear acoustic-optical apparatus.

**Key words** surface acoustic wave; interdigital transducer; basic charge distribution function

近年来声表面波器件作为新型的电子器件已引起人们极大的关注,作为声表面波器件中不可缺少的叉指换能器,其设计是十分重要的工作。要想设计出符合条件的叉指换能器,必须了解叉指换能器的特性。而在描述叉指换能器(interdigital transducer, IDT)特性的数学模型中,表面电荷分布函数又处于极其重要的地位。文献[1]在讨论叉指横向电场模型、纵向电场模型后指出, IDT的等效电路模型其实质是对应于不同情况下叉指的表面电荷分布函数。描述IDT特性的模型,如 $\delta$ 函数模型、脉冲响应模型、sin函数模型和频谱加权模型等,即对电荷分布函数不同的近似取代方法。根据耦合模理论,声光互作用可以分为声光共线耦合和声光共平面耦合,而后者又可进一步分为声光布拉格衍射和声光喇曼-奈斯衍射。本文以文献[2,3]中提到的基本电荷分布函数为基础,讨论声光共线器件中叉指换能器的频率响应表达式及其曲线。

### 1 基本理论

#### 1.1 基本电荷分布函数

单抽头结构电极是指叉指金属比 $h$ 恒定,叉指阵列中除中间电极电压为1V外,其余电极均为0,如图1所示。显然,单抽头结构电极的表面电荷分布函数为

$$s'(x, h) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s'_n(x - np, h) \quad (1)$$

式中  $s'(x, h)$  是每个电极上表面电荷分布的元函数;  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , 对应于电极的位置;  $s'_n(x, h)$  即是基本电荷分布函数。式(1)相应的空间傅里叶变换是

2002年11月20日收稿

\* 女 27岁 硕士 主要从事光纤与光通信技术方面的研究

$$\mathbf{s}'_f(k, \mathbf{h}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \mathbf{s}'_{n_f}(k, \mathbf{h}) \exp(-jknp) \quad (2)$$

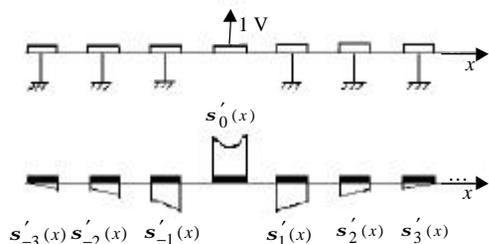


图1 单抽头结构电极电荷分布示意图

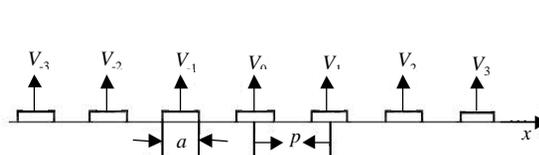


图2 叉指阵列排列图

由于  $\mathbf{s}'_n(x, \mathbf{h})$  的分布对  $n$  呈指数衰减, 可以不考虑中心电极对  $n \geq 3$  电极的影响, 即

$$\mathbf{s}'(x, \mathbf{h}) = \sum_{n=-2}^2 \mathbf{s}'_n(x - np, \mathbf{h}) \quad (3)$$

$$\mathbf{s}'_f(k, \mathbf{h}) = \sum_{n=-2}^2 \mathbf{s}'_{n_f}(k, \mathbf{h}) \exp(-jknp) \quad (4)$$

### 1.2 周期性叉指阵列

图2是周期性叉指阵列的示意图。设叉指金属比  $\mathbf{h} = a/p$ , 电极电压的极性由正、负号表示, 加在其上的电压可表示为

$$V(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} V_n \mathbf{d}(x - np) \quad (5)$$

式中  $V_n$  是加在第  $n$  个电极上的电压, 其正、负符号表示叉指的极性分布。由于叉指的电荷分布函数  $Q(x, \mathbf{h})$  可以写成

$$Q(x, \mathbf{h}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Q_n(x - np, \mathbf{h}) \quad (6)$$

根据场的叠加原理, 可以得到叉指的电荷分布函数  $Q(x, \mathbf{h})$  是电压函数  $V(x)$  和基本电荷分布函数  $\mathbf{s}'(x, \mathbf{h})$  的卷积, 即

$$Q(x, \mathbf{h}) = V(x) * \mathbf{s}'(x, \mathbf{h}) \quad (7)$$

式(7)的傅里叶变换是  $Q_f(k, \mathbf{h}) = V_f(k) * \mathbf{s}'_f(k, \mathbf{h})$ , 其中,  $V_f(k) = \sum V_n \exp(-jknp)$ 。

为了得到单个电极上的电荷表达式, 将式(7)写成

$$Q(x, \mathbf{h}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} V_n \mathbf{d}(x - np) \sum_{m=-2}^2 \mathbf{s}'_m(x - np, \mathbf{h}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-2}^2 V_{n-m} \mathbf{s}'_m(x - np, \mathbf{h}) \quad (8)$$

则在第  $n$  个电极下的电荷表达式为  $Q_n(x, \mathbf{h}) = \sum_{m=-2}^2 V_{n-m} \mathbf{s}'_m(x, \mathbf{h})$ 。

### 1.3 单叉指换能器

单叉指换能器结构如图3所示, 相同电压的电极通过汇流条相连。从以上的分析可知, 对于某个中心电极, 对其有影响的电极只有左右相邻的4个电极, 因此, 设对频率响应有作用的电极个数为  $N_E$ , 电压加权函数  $\mathbf{a}(x)$  是电压函数  $V(x)$  与  $V_T$  的比值, 即

$$\mathbf{a}(x) = \frac{V(x)}{V_T} = \sum_{n=1}^{N_E} V_n \frac{\mathbf{d}(x - np)}{V_T} \quad (9)$$

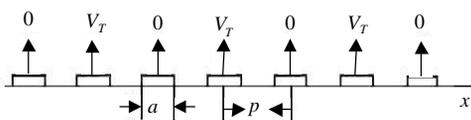


图3 单叉指阵列示意图

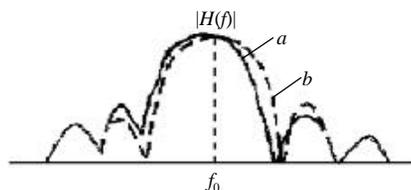


图4 叉指的频响曲线

式(9)的傅里叶变换是

$$\mathbf{a}_f(k) = \sum_{n=1}^{N_f} V_n \frac{\exp(-jkn\pi)}{V_T} = \sum_{n=1}^{N_f} \mathbf{a}_n \exp(-jkn\pi) \quad (10)$$

因为叉指的辐射导纳和  $Q_f(k, \mathbf{h})$  振幅的平方成正比, 由

$$G_a(f) = \frac{G_s |\mathbf{s}'_f(k, \mathbf{h})|^2 |V_f(k)|^2}{V_T^2} = G_s |\mathbf{s}_f(k, \mathbf{h})|^2 |\mathbf{a}_f(k)|^2 \quad (11)$$

式中 当  $\mathbf{h} = 0.5$  时,  $G_s = 8K^2 f_0 C_s$ ,  $K^2$  是基底材料的机电耦合常量;  $C_s = (\mathbf{e}_p + \mathbf{e}_0)w$ ,  $w$  是叉指孔径,  $\mathbf{e}_p$  为基片的有效介电常数,  $\mathbf{e}_0$  为真空中的基片介电常数。

由频谱函数的定义可以得到叉指的频谱函数为<sup>[4]</sup>

$$|H(f)|^2 = G_a(f)$$

图4是叉指的理论频响特性曲线, 图中曲线a是根据上面的分析所得的单叉指换能器的理论频响曲线, 其参数是  $n = 2$ ,  $f_0 = 150$  MHz, 采用Y切Z传的LiNbO<sub>3</sub>基片, 机电耦合常量为4.3%, 声传播速度是3 485 m/s; 曲线b是根据δ函数模型计算的理论频响曲线。

从上面的分析可以看出,  $\mathbf{a}_f(k)$  是脉冲响应模型中的阵列因子, 而  $\mathbf{s}'_f(k, \mathbf{h})$  则是基本因子, 使换能器的响应不能分离成基本因子和阵列因子, 因此, 当考虑邻近电极的影响时会遇到障碍。从图4可以看出, 当  $n$  较小时, 本文提到的模型较δ函数模型更能解释叉指的频响特性, 这是因为δ函数模型对于叉指换能器的谐波完全失效。

## 2 结束语

本文以基本电荷分布函数为基础, 通过阵列因子和基本因子, 得到了单叉指换能器的频响特性曲线, 并与δ函数模型进行了比较。本文介绍的方法适用于任何周期性的加任意电压的叉指换能器, 对于分指的叉指换能器只需将  $\mathbf{a}_f(k)$  进行修正即可, 其理论模型对考虑邻近效应的叉指换能器设计提供了一条切实可行的分析途径。

## 参 考 文 献

- [1] Ristic V M. The two-dimension static charge distribution on SAW interdigital transducer[J]. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, 1979, 26(4): 266-271
- [2] Supriyo D, Bill J H. A generalized model for periodic transducers with arbitrary voltages[J]. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, 1979, 26(1): 235-242
- [3] Supriyo D, Bill J H. Element factor for periodic transducers[J]. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, 1980, 27(1): 42-44
- [4] 吴连法. 声表面波器件及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1983

编辑 徐培红