

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.01.015

# 基于 ANSYS 的声表面波标签仿真研究

陈飞, 茅健

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

**摘要:** 声表面波无线射频识别技术是现代无线射频识别方法之一。针对目前声表面波标签设计复杂,精度要求较高等特点,提出了基于 ANSYS 的声表面波标签设计方法。在声场波动方程和 Maxwell 方程的基础上,研究二维模型的可行性,采用  $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$  压电晶体为基底,金属铝为叉指换能器电极,设计 2 个叉指换能器周期的声表面波标签模型。对声表面波标签进行模态分析和谐波响应分析,仿真结果反映了声表面波在压电基底上的传播轨迹,声表面波的能量分布图以及幅频特性,为声表面波标签的精确设计提供依据。

**关键词:** 声表面波标签; 钽酸锂晶体; 有限元分析法; 传播属性

中图分类号: O422; TN713

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2015)01-0060-04

## SAW Tag Modeling and Simulation Based on ANSYS

CHEN Fei, MAO Jian

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** The radio frequency identification technology based on surface acoustic wave is one of the modern RFID methods. For the complex design and high precision of the SAW-Tag, the paper proposed a design method based on the ANSYS. On the basis of the acoustic wave equations and Maxwell equations, the feasibility of two-dimensional model was deduced. The piezoelectric crystal  $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$  was set as the base and the aluminum as the electrode of interdigital transducers, the SAW tag model by two interdigital transducers was created. Through modal analysis and harmonic analysis of SAW tag, the propagation of SAW in piezoelectric substrate can be presented, as well as the energy distribution and the amplitude frequency characteristics, which provide the proof for precise design of SAW tags.

**Key words:** SAW (Surface Acoustic Wave) tag;  $\text{LiNbO}_3$  crystal; finite element analysis; propagation property

声表面波 (Surface Acoustic Wave, SAW) 是指能够在物体自由表面产生并沿着表面或界面传播的弹性波,其振幅随着物体透入深度而衰减,能量也主要集中在物体表面。随着叉指换能器 (Interdigital Transducers, IDT) 的出现,SAW 与射频波能够在压电基底表面完成声电转换,因此 SAW 技术得到了迅速的发展<sup>[1]</sup>。随着新材料的不断出现,信息融合技术的不断发展,SAW 技术在很多领域得到了广泛的应用。

无线射频 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术是物联网技术中不可或缺的自动识别技术之一。传统的基于 IC 技术的 RFID 技术具有识别距离短,适应恶劣环境能力较差的缺陷,而 SAW-RFID 技术能够弥补这些缺陷<sup>[2]</sup>,且其标签具有制造工艺简单,可以

大批量生产等优点。

SAW 标签的精确设计是 SAW-RFID 系统中重要环节,能够影响其在识别过程中的传播速度和识别时间。在实际应用中<sup>[3]</sup>,由于复杂的外界环境,较难得到压电晶体内波动微分方程的精确解。ANSYS 软件能够对多物理域进行建模和仿真,较好地反映 SAW 在压电基体上的传播属性,本文提出了一种基于 ANSYS 的声表面波标签仿真方法,为 SAW 标签的设计提供理论基础。

### 1 SAW-RFID 识别原理

图 1 是 1 个 SAW-RFID 识别系统<sup>[4]</sup>,主要包括阅读器和射频标签 2 部分。SAW-RFID 系统的工作原理为:阅读器通过天线发射 1 个射频脉冲查询信号,在查

收稿日期:2014-04-20;修回日期:2014-07-30

作者简介:陈飞(1989),男,江苏泰州人,硕士研究生,主要研究方向为物联网技术。E-mail:cf\_zdm@163.com

询范围内,SAW 标签上的天线接收信号并传递至叉指换能器,由于压电基片的逆压电效应,叉指换能器激发出相应的 SAW,该 SAW 在压电基片表面传播,到达含有编码信息的反射栅后,部分 SAW 又将返回至叉指换能器,叉指换能器再将该 SAW 通过基片压电效应转变成 RF 射频波,并由标签天线发射出去,同时阅读器的天线接收发射信号,从而得到阅读器天线范围内的 SAW 标签信息。

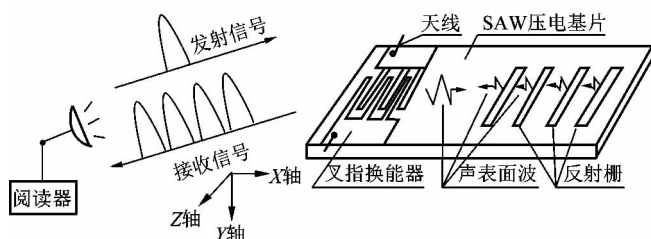


图1 SAW-RFID 标签系统工作原理图

Figure 1 SAW-RFID operation principle

## 2 SAW 标签仿真建模理论分析

当 SAW 在压电基片上传播时,电磁波必然存在于压电基体中,因此在压电基体中,必定包含有声波的弹性波动方程和电磁波 Maxwell 方程,同时该方程通过本构方程联系起来<sup>[5]</sup>,如公式(1)所示:

$$\begin{cases} T = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - F \\ D = d\sigma \end{cases} \quad (1)$$

其中, $T$ 为应力, $F$ 为施加在 IDT 上的负载, $\rho$ 为压电基体的密度, $u$ 为压电介质中质点振动的位移, $D$ 为电位移张量, $d$ 为压电应变常数, $\sigma$ 为应力张量。

在压电晶体中,波的传播过程中一般包含有 5 种波,即纯声波、耦合准声波、强化声波、纯电磁波以及耦合准电磁波。由于在  $\text{LiNbO}_3$  压电晶体中,声波的速度一般比电磁波速度慢 5 个数量级,因此电磁波的有旋分量和声波的耦合很弱,所以采用准静态近似法来处理电磁场的问题,即仅考虑 3 个声波,而忽略 2 个电磁波<sup>[6]</sup>。又因为压电介质为绝缘体,在压电介质内部没有自由电荷移动,因此 Maxwell 方程可以简化为公式(2):

$$D_i = 0, E_i = -\varphi_i \quad (2)$$

其中: $D_i$ 为电位移, $E_i$ 为电场强度, $\varphi_i$ 为电势函数的梯度。

为了简化模型,对 IDT 电极采用近似无线周期延伸,如图 1 所示,令  $X$  轴为 SAW 传播方向, $Y$  轴垂直于基底表面, $Z$  方向与 IDT 电极方向平行,由于 SAW 在  $Z$  轴方向的传播方式都相同,则有公式(3)所示:

$$\frac{\partial \mu}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

因此,分析 SAW 在压电介质中的传播问题可以简化为建立在二维模型基础上,在保证仿真结果的基础上,降低了仿真的复杂度。

## 3 SAW 标签建模与仿真

### 3.1 有限元模型

经过理论分析,可以将压电基片简化为二维模型<sup>[7]</sup>。在实际 SAW 标签中,IDT 数目一般有几十对到上百对,为了提高运算速度,可以建立 2 个周期,即在  $XY$  平面内建立 2 个周期节长度、基片高度为 2~5 倍波长的模型。假设 SAW 波长为  $\lambda$ ,当 SAW 与叉指换能器周期  $P$  一致时,叉指换能器得到最大激励,取  $\lambda = 1.6 \mu\text{m}$ ,则基片高度为  $5\lambda$ ,取电极高度  $h$  与 SAW 波长  $\lambda$  的比值, $h/\lambda = 5\%$ ,由此确定模型的尺寸,如图 2 所示。其中, $\Gamma_T$  为  $\text{LiNbO}_3$  晶片的上边界, $\Gamma_B$  为  $\text{LiNbO}_3$  的下边界, $\Gamma_L$  为  $\text{LiNbO}_3$  的左边界, $\Gamma_R$  为  $\text{LiNbO}_3$  的右边界,叉指对为铝电极。

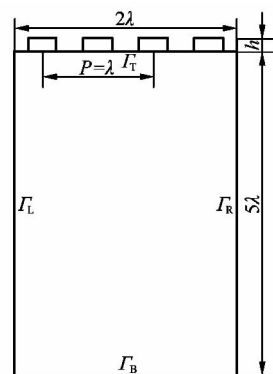


图2 SAW 标签二维模型

Figure 2 Two-dimensional model of SAW-Tag

### 3.2 单元类型和材料参数

对  $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$  压电基底的仿真为耦合场单元模型<sup>[8]</sup>,选用结构和电场相互作用,其中铝电极叉指对选择 PLANE13,其 Options 选项中单元自由度选择“UX UY VOLT”,单元行为选择“Plane strain”; $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$  晶体选择 PLANE223,其 Options 选项中选择“Piezoelectric”,单元类型为“Plane strain”后,确定单元类型后在材料参数中定义材料的密度、介电常数、弹性常数和压电常数,其中后 2 个常数为矩阵形式,需要输入不同的次序转换后的系数矩阵;最后再定义铝的密度和泊松比以及杨氏模量参数。

### 3.3 网格划分

SAW 标签网格划分如图 3 所示,模型建立完成

后,利用 glue 整体黏结,将所有面连接起来,以保证后续计算中对这些连接面施加的力以及产生的位移都是连续的,接下来进行模型网络划分。

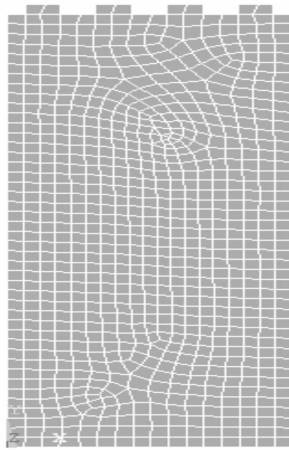


图3 SAW 标签网格划分图  
Figure 3 Mesh of SAW-tag

### 3.4 约束条件和加载

LiNbO<sub>3</sub> 压电基片上表面  $\Gamma_T$  为应力自由表面<sup>[9]</sup>, 因此不需要施加外部条件;底边  $\Gamma_B$  为固定边界,施加狄利克雷边界条件,即设定底边在 3 个方向的位移为零,使其在分析求解时不会发生位移变化;左边界  $\Gamma_L$  和右边界  $\Gamma_R$  为周期性边界条件,保证左右边界对应节点的方向、位移和电势一致。在模态分析时不需要施加电压载荷,在进行谐响应分析时,需要在 2 个电极与压电基底接触的面施加 1 V 和 -1 V 电压。

### 4 仿真结果及分析

根据以上模型,可得图 4 和图 5 的 SAW 标签的理论电场分布和仿真电场分布。由 SAW 传播理论可知, SAW 振幅最强的部分位于压电基片表面  $1 \sim 2\lambda$  的深度,随着压电基片深度加大而振幅减小,其幅值大小与电场分布强弱成正比。由图 6 可以看出,仿真电场在压电基片表面分布最强,这与 SAW 传播理论相吻合。

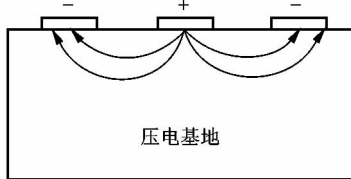


图4 理论电场分布

Figure 4 Distribution of theoretical electric field

对 SAW 标签进行谐响应分析,可以得到压电基片上某节点的幅频特性分布图,由图 7 可以看出,基于 128°YX-LiNbO<sub>3</sub> 压电基底的 SAW 标签在 434 MHz 处

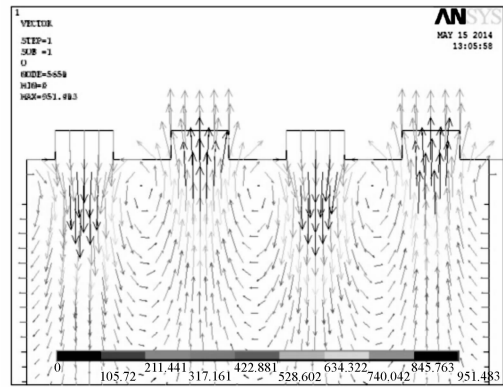


图5 实际电场分布

Figure 5 Distribution of actual electric field

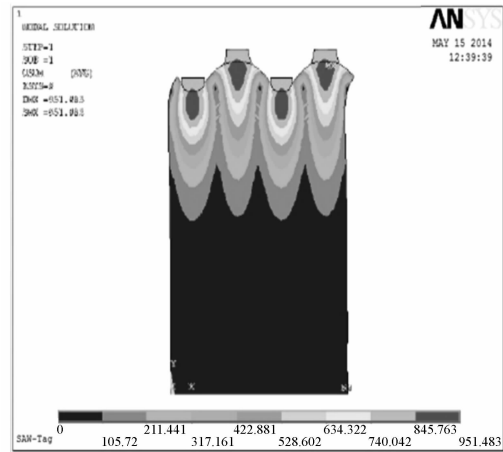


图6 SAW 能量分布图

Figure 6 Energy distribution of SAW

具有最大的频率响应,这与 LiNbO<sub>3</sub> 压电晶体的传播性能相符合。

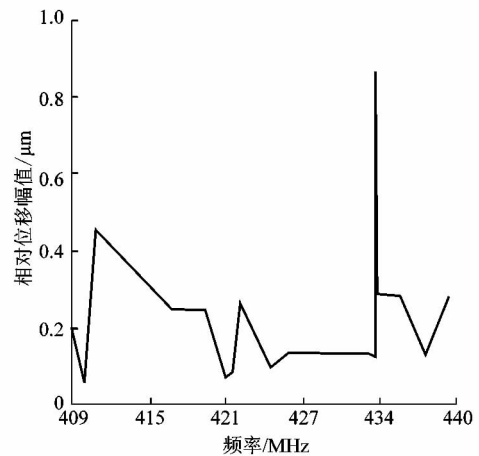


图7 某节点位移幅频特性图

Figure 7 Displacement amplitude frequency of one node

(下转第 67 页)