

一种用于图书档案库的小波加权式声表面波 温度传感器的关键问题研究

张静端

(东华大学图书馆, 上海 201620)

摘 要: 本文提出把声表面波温度传感器用于图书档案库的温度控制系统中. 当图书档案库中温度变化时, 该温度传感器的输出频率与温度成线性关系, 从而达到测量温度的目的. 同时还提出将输入换能器变迹加权函数、换能器的指条数对声表面波功率的影响作为两个关键问题进行了研究, 并且解决了这两个关键问题. 在声表面波温度传感器的研究中, 用小波函数对输入换能器进行变迹加权, 导致于抑制了该温度传感器频率特性曲线的旁瓣. 换能器的指条数越多, 产生的体声波越弱 (即换能器的指条数越多, 产生的声表面波越强). 只要换能器的指条数大于 40 条时, 产生的体声波可以忽略, 而产生的声表面波是很强的. 并且对该温度传感器的设计、制作及实验进行了详细研究.

关键词: 图书档案库; 声表面波温度传感器; 旁瓣; 换能器的指条数

中图分类号: TN011.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2016)05-1162-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2016.05.021

Study of a Wavelet weighting Surface Acoustic Wave Temperature Sensor Applied in Library and Archives

ZHANG Jing-duan

(Donghua University Library, Shanghai 201620, China)

Abstract: We propose to apply the surface acoustic wave (SAW) temperature sensor in the temperature control system of library and archive. When the temperature of library and archive changes, the output frequency of the SAW temperature sensor is linear with the temperature, thus the temperature can be measured. We also present the trace weighted function of the input transducer, and the influence of transducer electrode-numbers on the SAW power as two key problems of the SAW temperature sensor. The solutions to these problems are achieved in this study. The wavelet function is used as the trace weighted function of the input transducer, so that the sidelobes for the frequency characteristic curve of the SAW temperature sensor are suppressed. The more the transducer electrode number are, the weaker the bulk acoustic wave (BAW) is (i.e., the more the transducer electrode-numbers are, the stronger the SAW is). As long as transducer electrode numbers are more than 40, the excited bulk acoustic wave (BAW) can be ignored, but the excited SAW is very strong. The design, fabrication and experiment for the SAW temperature sensor have been studied in detail.

Key words: library and archive; surface acoustic wave (SAW) temperature sensor; sidelobes; transducer electrode numbers

1 引言

图书档案库对温度、湿度要进行控制和调节. 当温度和湿度状况适应于图书和档案保护条件时, 能够延长图书和档案的寿命. 在图书和档案保护技术的实际工作中, 对温度和湿度的调控要引起高度的注意, 以科学的态度和方法去认识、解决这个问题^[1-6].

因为图书及档案只要在一定的温度和湿度下才能

很好的保存, 所以图书档案库的温度一般都是在 14 ~ 24°C, 相对湿度应控制在 45 ~ 60% 之间^[1,2].

本文重点研究用于图书档案库的温度传感器. 由于图书档案库储藏功能的具体特性, 所以对温度传感器提出了严格的要求如下: (1) 要求温度传感器具有高可靠性和高稳定性; (2) 要求温度传感器具有高灵敏度; (3) 要求温度传感器响应时间快^[7-19].

温度传感器种类繁多, 常用的有热电偶、热电阻

(金属热电阻和半导体热电阻)、集成温度传感器等。

热电偶是用两种不同金属材料制成的。两种不同金属材料两端接合成回路,当接合点的温度变化时,在回路中产生微小的热电势,利用这个热电势达到测量温度的目的。它有一个直接测量温度端叫热端,另一端叫冷端(也叫补偿端),并且冷端需要温度补偿电路,因而热电偶测量温度的电路相对比较复杂,成本比较高。一般测量温度范围为 $-50 \sim 1600^{\circ}\text{C}$ 。

热电阻包括金属热电阻和半导体热电阻。金属热电阻通常有铂电阻和铜电阻。铂电阻的阻值与温度之间接近线性关系,常用的型号有 P_{t10} 、 P_{t100} 、 P_{t1000} ,其中 P_{t100} 铂电阻的测量温度范围为 $-200 \sim 850^{\circ}\text{C}$,并且铂电阻是低温区最常用的一种温度传感器,其测量精度高,性能稳定。在温度精度要求不高情况下,可采用铜电阻。在 $-50 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,铜电阻的阻值与温度之间成线性关系,常用的型号有 C_{u50} 和 C_{u100} 。半导体热电阻有严重的非线性,互换性比较差,测量温度范围为 $-50 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

传统的温度传感器,如热电偶、热电阻(金属热电阻和半导体热电阻)存在三个缺点:(1)在一些温度范围内线性度差;(2)热惯性大;(3)响应时间慢。

集成温度传感器与传统的温度传感器相比,具有灵敏度高、线性度好、响应速度快等优点。常用的集成温度传感器有 LM135、LM235、LM335、LM3991、LM45、AD22103(电压输出型)、AD590(电流输出型)等。这些常用的集成温度传感器输出信号都是模拟信号,所以容易受到干扰信号的影响。另外,也有数字信号输出集成温度传感器,如 DS18B20,该集成温度传感器具有良好的抗干扰信号性能。

声表面波温度传感器具有八个优良特性:(1)由于材料温度特性稳定,所以该温度传感器具有高可靠性和高稳定性;(2)一致性和重复性好,易于加工;(3)温度灵敏度高;(4)由于热容量和热导率高,所以响应时间快;(5)良好的线性度;(6)抗干扰信号性能强;(7)由于该传感器的输出频率高,所以容易制作成无线温度传感器;(8)成本低。

图书档案库的温度控制系统要求温度传感器具有高可靠性、高稳定性、高灵敏度及响应速度快外,还希望选用无线温度传感器。通过对各种温度传感器的研究和分析,声表面波温度传感器能够满足图书档案库温度测量的要求。

声表面波温度传感器现在仍是个较新的课题,它目前需要解决下列四个关键问题:(1)寻找温度系数较大的新的压电晶体材料;(2)设想对压电晶体表面进行适当的掺杂或镀上能够改变声表面波温度系数的绝缘膜;(3)输入换能器的变迹加权;(4)抑制体声波。如果

解决了这四个关键问题,声表面波温度传感器的研制与开发会有新的突破。

本文重点研究一种用于图书档案库的声表面波式小波加权的温度传感器。当图书档案库中温度变化时,该温度传感器的输出频率与温度成线性关系,从而达到了测量温度的目的。本文提出了将输入换能器变迹加权、输入输出换能器的指条数对声表面波功率的影响(即抑制体声波)作为两个关键问题进行了研究。将小波函数用于输入换能器变迹加权中,抑制了该温度传感器频率特性曲线的旁瓣。当输入输出换能器产生的声表面波功率与总功率比大(即它们产生体声波功率与总功率比小)时,输入输出换能器具有良好的频率特性。最后对该温度传感器的设计、制作及实验进行了详细研究。

2 工作原理

图1是声表面波温度传感器的工作原理图。在图1中,输入换能器与输出换能器及放大器构成了一个振荡器,其振荡器的振荡频率。

$$f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2(a+b)} \quad (1)$$

式中, v 是声表面波的传播速度, λ 是叉指换能器的指条周期, $\lambda = 2(a+b)$, a 是指条宽度, b 是指间。

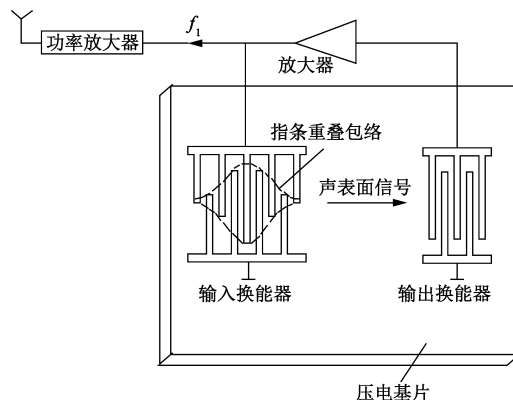


图1 声表面波式温度传感器的工作原理

当声表面波温度传感器的压电基片表面温度发生变化时,引起声表面波的传播速度 v 和指条周期 λ (即指条宽度 a 和指间 b) 变化,导致于该温度传感器的振荡频率(即输出频率)发生变化,即。

$$\frac{df_1}{f_1} = \frac{dv}{v} - \frac{d\lambda}{\lambda} \quad (2)$$

在式(2)中,在压电基片尺寸的变化比较小,可以忽略 $\frac{d\lambda}{\lambda}$ 的变化,则式(2)变为:

$$\frac{df_1}{f_1} \approx \frac{dv}{v} = \frac{1}{v} \frac{dv}{dT} dT = C \Delta T \quad (3)$$

式(3)中, $C = \frac{1}{v} \frac{dv}{dT}$ 是温度传感器振荡频率的温度系数, ΔT 是温度变化量.

从公式(3)中知道, 当被测量温度 T 发生变化时, 引起声表面波温度传感器的振荡频率 f_1 发生变化, 从而达到测量温度 T 的目的. 由于声表面波温度传感器的输出频率 f_1 高, 所以容易制作成无线温度传感器, 如图 1 所示.

3 声表面波温度传感器的关键问题及其解决方法

输入换能器变迹加权、输入输出换能器的指条数对声表面波功率的影响作为声表面波温度传感器的两个关键问题. 在下面对这两个关键问题提出了解决的方法.

3.1 输入换能器的变迹加权及其解决方法

输入换能器变迹加权是关键问题. 输入换能器变迹加权可以采用小波函数、余弦平方函数及其它函数. 小波函数对输入换能器频率特性曲线的旁瓣抑制最佳^[9~19]. 因此, 在本文采用小波函数对输入换能器进行了变迹加权.

输入换能器指条重叠包络按照小波函数的包络函数进行变迹加权设计. 尺度为 2^{-1} 的 Morlet 小波

函数^[10~12].

$$\varphi_{2^{-1}}(t) = \sqrt{2} e^{-2t^2} e^{j2\pi 2f_0 t} = p_s(t) e^{j2\pi 2f_0 t} \quad (4)$$

式中, $p_s(t)$ 是小波函数的包络函数, $p_s(t) = \sqrt{2} e^{-2t^2}$, $2f_0$ 是中心频率.

输入换能器的指条长度.

$$L_n = k p_s(t) = 1131.371 p_s(t) = 1131.371 \sqrt{2} e^{-2t^2} \quad (5)$$

式中, n 是从 1 到 100 的整数, k 是常数, $k = 1131.371$.

在图 1 中所示的输入换能器的指条重叠包络按式(5)所示的函数进行设计. 输入换能器的指条长度计算如下所示.

在图 2(a) 中, 当声表面波的传播时间 $t = 0$, $n = 1$ 时, 将 $t = 0$, $n = 1$ 代入式(5)中得到输入换能器的指条 1 的长度.

$$L_1 = k p_s(t) = 1131.371 p_s(t) = 1131.371 \sqrt{2} e^{-2t^2} = 1600 e^{-2 \cdot 0^2} = 1600 \mu\text{m}$$

在图 2(a) 中, 当声表面波的传播时间 $t = t_1$ 时, 声表面波的传播时间.

$$t_1 = \frac{a+b}{v} \quad (6)$$

式中, a 是输入换能器的指条宽度, b 是输入换能器的指间宽度, v 是声表面波的传播速度.

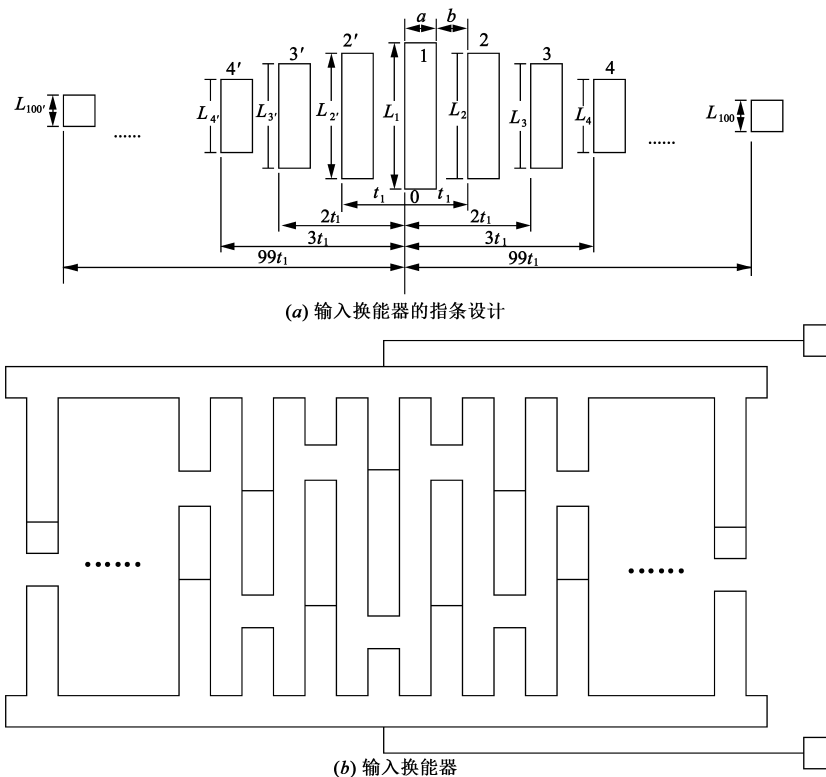


图2 输入换能器的设计

从表 1 知道指条宽度 $a = 14.143 \mu\text{m}$, 指间宽度 $b = 14.143 \mu\text{m}$, $128^\circ\text{Y} = \text{X LiNbO}_3$ 压电基片的声表面波传播速度 $v = 3960 \mu\text{m}/\mu\text{s}$.

将 $a = b = 14.143 \mu\text{m}$, $v = 3960 \mu\text{m}/\mu\text{s}$ 代入式(6)中得到:

$$t_1 = \frac{14.143 + 14.143}{3960} = 0.007142929293 \mu\text{s}$$

将 $t_1 = 0.007142929293 \mu\text{s}$, $n = 2$ 代入式(5)中得到输入换能器的指条 2 和 2' 的长度.

$$L_2 = L_{2'} = 1600e^{-2 \cdot (0.007142929293)^2} = 1599.84 \mu\text{m}$$

将 $t = 2t_1 = 2 \times 0.007142929293 = 0.014285858 \mu\text{s}$, $n = 3$ 代入式(5)中得到输入换能器的指条 3 和 3' 的长度

$$L_3 = L_{3'} = 1600e^{-2 \cdot (2t_1)^2} = 1600e^{-2 \cdot (0.014285858)^2} = 1599.35 \mu\text{m}$$

表 2 输入换能器的指条长度 (μm)

$L_{100'}$	.....	$L_{3'}$	L_2	L_1	L_2	L_3	.....	L_{100}
588.54	.....	1599.35	1599.84	1600	1599.84	1599.35	.....	588.54

3.2 输入输出换能器的指条数对声表面波功率的影响及其解决方法

当输入输出换能器产生声表面波功率与总功率比大(即它们产生体声波功率与总功率比小)时,输入输出换能器具有良好的频率特性.

体声波能够产生带内波纹,引起幅值和相位的畸变,也能增加插入损耗. 体声波与换能器的指条数有关. 换能器的指条数越多,产生的体声波越弱(即换能器的指条数越多,产生的声表面波越强). 在表 3 中,只要换能器的指条数大于 40 条时,产生的体声波可以忽略.

表 3 换能器的指条数与功率关系

指条数	体声波功率与总功率比	声表面波功率与总功率比
2	57.2%	42.8%
10	12.3%	87.7%
40	1.7%	98.3%

输出换能器是指条相等重叠、均匀周期的叉指换能器. 它把声表面波信号变为电信号,并且它指条数比输入换能器指条数少,所以它的带宽比输入换能器的带宽大得多,导致于声表面波温度传感器的带宽由输入换能器的带宽决定.

在表 1 中,输入换能器的指条数是 199 条,输出换能器的指条数是 48 条,所以输入输出换能器产生的体声波可以忽略,而产生的声表面波是很强的,导致于输入输出换能器具有良好的频率特性曲线,如图 5 所示.

4 传感器的制作及实验

在 $128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$ 压电基片上,制造出了声表面波温度传感器,如图 3 所示. 表 4 是图 3 所示声表面波

同理,在图 2(a)中,分别将 $3t_1, n = 4; 4t_1, n = 5; \dots; 99t_1, n = 100$ 代入式(5)中,得到表 2 所示的输入换能器的指条长度. 根据表 1 和表 2 的参数能够设计出输入换能的指条,如图 2(a)所示. 从图 2(a)能够设计出输入换能器,如图 2(b)所示.

表 1 输入换能器和输出换能器的设计参数

中心频率 (MHz)	指条数		指条宽度 (μm)	指间宽度 (μm)	压电基片 材料
	输入 换能器	输出 换能器			
70	199	48	14.143	14.143	$128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$

温度传感器的实际测量数据. 根据表 4 数据和最小二乘法,建立温度 T 与声表面波温度传感器的输出频率 f_1 之间的函数关系,即,

$$f_1 = 69.976719 - 5.322857 \times 10^{-5} T \quad (7)$$

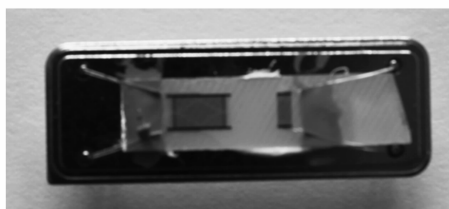


图3 在 $128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$ 压电基片上制作的声表面波温度传感器

在图 4 中, f_1 的曲线是式(7)所示的函数曲线,实验点是表 4 所示的实际测量数据, f_1 的曲线和实验数据之间的相对线性度误差.

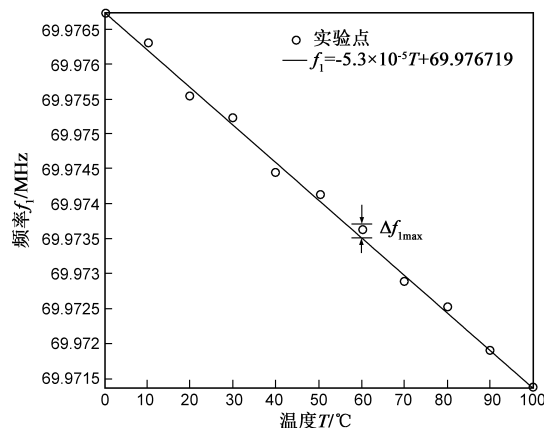


图4 曲线图

$$\delta = \frac{|\Delta f_{1\max}|}{f_{1Fs}} \times 100 \quad (8)$$

表 4 声表面波温度传感器的实际测量数据

温度 $T/^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50
温度传感器的输出频率 f_1/MHz	69.9767187	69.976307	69.975525	69.975222	69.97445	69.9741298
温度 $T/^{\circ}\text{C}$	60	70	80	90	100	
温度传感器的输出频率 f_1/MHz	69.973637	69.972894	69.97251	69.971884	69.971364	

式中, $|\Delta f_{1\max}|$ 是 f_1 的曲线和实验数据之间的最大偏差, f_{1FS} 是声表面波温度传感器满度值。

从图 5 所示输入输出换能器的频率特性曲线知道:小波函数对输入换能器的加权能够有效抑制频率特性曲线的旁瓣。

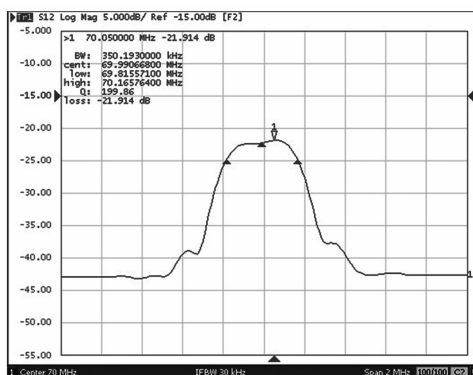


图5 输入输出换能器的频率特性曲线

将 $T=0^{\circ}\text{C}$, $T=100^{\circ}\text{C}$ 分别代入式(7)中得到 $f_1(0^{\circ}\text{C})$ 和 $f_1(100^{\circ}\text{C})$ 的值,从而可求出声表面波温度传感器的满度值。

$$\begin{aligned}
 f_{1FS} &= f_1(0^{\circ}\text{C}) - f_1(100^{\circ}\text{C}) \\
 &= (69.976719 - 5.322857 \times 10^{-5} \times 0) \\
 &\quad - (69.976719 - 5.322857 \times 10^{-5} \times 100) \\
 &= 0.005322857 (\text{MHz})
 \end{aligned} \quad (9)$$

从图 4、表 4 和式(7)知道

$$\begin{aligned}
 |\Delta f_{1\max}| &= |69.973637 - (69.976719 \\
 &\quad - 5.322857 \times 10^{-5} \times 60)| \\
 &= 0.0001117142 (\text{MHz})
 \end{aligned} \quad (10)$$

将式(9)和式(10)代入式(8)中得到该温度传感器的相对线性误差。

$$\delta = \frac{0.0001117142}{0.005322857} \times 100\% = 2.1\% \quad (11)$$

从式(11)知道该温度传感器的相对线性度误差是 2.1%。

实验结果表明:(1)从表 4 和图 4 知道被测的温度 $T(^{\circ}\text{C})$ 与声表面波温度传感器输出频率成线性关系,从而达到测量温度的目的;(2)从图 5 所示输入输出换能器的频率特性曲线知道小波函数对输入换能器的加权能够有效抑制频率特性曲线的旁瓣;(3)由于铌酸锂晶体具有很高的居里温度 (1200°C),在很大的温度范围

内有稳定的物理和化学性能,所以铌酸锂制作的温度传感器可以在更宽温度范围及更高温度 (1000°C 左右) 中使用。图书档案库的温度一般都是在 $14 \sim 24^{\circ}\text{C}$,所以在本文中,用铌酸锂制作的温度传感器只作了 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 实验。从实验结果知道声表面波温度传感器能够用于图书档案馆库温度控制系统中。

5 结论

本文用声表面波器件制作出了温度传感器,把声表面波温度传感器用于图书档案库的温度控制系统中。提出了将输入换能器变迹加权函数、换能器的指数对声表面波功率的影响作为两个关键问题进行了研究,并且解决了这两个关键问题。最后对该温度传感器的设计、制作及实验进行了详细研究。从而得到了六个结论:(1)在声表面波温度传感器的研究中,用小波函数对输入换能器进行变迹加权,导致于抑制了该温度传感器频率特性曲线的旁瓣;(2)换能器的指数条数越多,产生的体声波越弱(即换能器的指数条数越多,产生的声表面波越强)。只要换能器的指数条数大于 40 条时,产生的体声波可以忽略,而产生的声表面波是很强的;(3)该温度传感器具有声表面波器件的优良特性,即可靠性高、生产的重复性高,良好的稳定性及响应时间快;(4)该温度传感器具有灵敏度高、线性度好及抗干扰性能强等特性;(5)由于该温度传感器的输出频率高,所以容易制作成无线温度传感器;(6)该温度传感器适应用于图书档案馆库及其它类似的场所使用。

参考文献

- [1] 吕廷镠. 档案库房的温湿度控制[J]. 浙江档案,1995,17(4):39.
- [2] 陈伟. 档案馆库房温湿度控制的初步分析和探究[J]. 广西档案,2011,18(2):35-37.
- [3] 魏正光. 档案馆库房温湿度控制与空调、抽湿机等设备的应用[J]. 数字与缩微影像,2012,19(2):36-38.
- [4] 顾洁. 基于单片机的图书馆温湿度检测系统设计[J]. 长春师范学院学报,2014,33(1):37-39.
- [5] 李娜,张明玉,汪材印. 基于单片机的图书馆温湿度远程控制系统设计[J]. 赤峰学院学报,2013,29(3):61-63.
- [6] 昌凯,薛栋梁,孙强,等. 图书馆温湿度智能控制系统研究与设计[J]. 计算机科学,2014,41(S2):436-439.

Chang kai, et al. The research and design of the temperature

- and humidity intelligent control system in library[J]. Computer Science, 2014, 41(S2): 436–439. (in Chinese)
- [7] 雷冰冰, 卢文科, 赵春锋. 高灵敏度 SAW 纱线张力传感器研究[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(4): 45–48.
Lei Bingbing, Lu Wenke, Zhao Chunfeng. Research on high-sensitivity SAW yarn tension sensor[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2015, 34(4): 45–48. (in Chinese)
- [8] 陈金太. 谐振型锂离子声表面波温度传感器的设计[J]. 集美航海学院学报, 1995, 13(2): 49–53.
- [9] Lü X Z, Lu W K, Zhu C C. Compensated SAW yarn tension sensor[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2014, 63(12): 3162–3168.
- [10] Lu W K, Lü X Z, Zhu C C, et al. Solving three key problems of the SAW yarn tension sensor[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2012, 59(10): 2853–2855.
- [11] Lu W K, Zhu C C, Kuang L, et al. Solution to the influence of the MSSW propagating velocity on the bandwidths of the single-scale wavelet-transform processor using MSSW Device[J]. Ultrasonics, 2012, 52(1): 145–150.
- [12] Lu W K, Zhu C C, Liu J H, et al. Implementing wavelet transform with SAW elements[J]. Science in China (Series E), 2003, 46(6): 627–638.
- [13] Wen C B, Zhu C C. A novel architecture of implementing wavelet transform and reconstruction processor with SAW device based on MSC [J]. Sensors Actuators A, 2006, 126(1): 148–153.
- [14] Wen C B, Zhu C C, Ju Y F. Dual track architecture and time synchronous scheme for wavelet reconstruction processor using SAW device based on MSC [J]. Sensors Actuators A, 2008, 147(1): 222–228.
- [15] Wen C B, Zhu C C. Time synchronous dyadic wavelet processor array using surface acoustic wave device[J]. Smart Materials and Structures, 2006, 15(5): 939–945.
- [16] Wen C B, Zhu C C, Ju Y F, et al. Optimal frequency band design scheme of dyadic wavelet processor array using surface acoustic wave devices[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56(4): 949–955.
- [17] Lu W K, Zhu C C. Solving three key problems of wavelet transform processor using surface acoustic wave devices [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(11): 3801–3806.
- [18] Jiang H, Lu W K. Study of low insertion loss and miniaturization wavelet transform and inverse transform processor using SAW devices[J]. Ultrasonics, 2013, 53(5): 992–997.
- [19] Lu W K, Zhu C C, Kuang L, et al. Implementing single-scale wavelet transform processor with magnetostatic surface wave device[J]. Science China Technological Sciences, 2011, 54(6): 1439–1444.

作者简介



张静端 女, 1963 生于陕西西安, 本科, 工程师, 研究方向为传感器技术及图书馆管理系统.

E-mail: zhangjingduna2@163.com