

文章编号:1672-3961(2008)01-0028-04

ZnO 环形压敏电阻器消噪特性研究及其敏感电压的控制方法

杨志坚¹, 宿元斌², 申永和³, 马裕民⁴, 范坤泰⁵

(1. 山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061;

2. 山东理工大学电气学院, 山东 淄博 255049;

3. 淄博市电子公司, 山东 淄博 255036;

4. 山东大学 物理与微电子学院, 山东 济南 250100;

5. 山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

摘要: ZnO 环形压敏电阻器广泛应用于消除录音机的噪声. 理论分析表明, 在消除大能量噪声方面, 突变型压敏电阻器优于缓变型; 在消除小能量噪声时, 缓变型效果更佳. 本文给出了压敏电压的具体控制方法, 对普遍存在的焊后(压)降增大问题提出了解决方案. 实验结果表明, 理论分析正确, 控制方法简便、有效.

关键词: 压敏电阻器; 消噪; 缓变型; 压敏电压; 掺杂; 烧结

中图分类号: TN389 **文献标志码:** A

On noise elimination properties and sensitive voltage control methods of ZnO ring varistors

YANG Zhi-jian¹, SU Yuan-bin², SHEN Yong-he³, MA Yu-min⁴, FAN Kun-tai⁵

(1. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. School of Electrical Engineering, Shandong University of Science and Engineering, Zibo 255049, China;

3. Zibo Electronics Company, Zibo 255036, China;

4. School of Physics and Microelectronics, Shandong University, Jinan 250100, China;

5. School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract: ZnO ring varistors are widely used in noise elimination of recorders. Important conclusions achieved by analysis were that the varistors with slow changing I-V curves are better than those with break changing for the elimination of high energy noise of recorders. However, it is quite the contrary for the elimination of low energy noise. The methods and the principles of the varistors sensitive voltage control were presented. Also, solutions of the devices sensitive voltage on a larger scale after being welded were raised. The experimental results indicate that the analysis is correct and the methods are simple and effective.

Key words: varistors; noise eliminating; slow change type; sensitive voltage; dope; sintering

0 引言

声消除, 录音机噪声的大小是衡量录音机质量的重要指标.

ZnO 环形压敏电阻器被广泛应用于录音机的噪

随着信息产业的发展, 消噪型 ZnO 环形压敏电阻器用途广、用量大. 然而, 在生产中如何保证其质

收稿日期: 2007-05-21

作者简介: 杨志坚(1958-), 男, 浙江建德人, 副教授, 研究方向为半导体物理、电子陶瓷及计算机应用等.

E-mail: zhijianyang@sdu.edu.cn

量,推进规模化生产,在技术上还存在着诸如压敏电压不易控制、焊后(压)降增大等问题.下面,就如何控制“压比”、改善其消噪特性及如何减小焊后(压)降等问题进行讨论,并提出有效的改进方法.

1 ZnO 环形压敏电阻器参数与录音机消噪

设计用于录音机消噪的压敏电阻器必须满足三个条件:一是设计出的配方和工艺一定要保证能做出具有缓变型 I-V 特性曲线的压敏电阻器;二是其产品有较低的压敏电压值;三是要有较高的抗折强度.由于压比与非线性系数 α 的关系式为 $\alpha = 1/\lg(V_2/V_1)^{[1]}$,而压比 V_2/V_1 在生产中是指 V_{10mA}/V_{1mA} ,所以,当有的公司在配方和工艺确定后,宣称要把压比控制在 1.7~2.7 之间,实际上就是要把非线性系数 α 控制在 2.3~4.3 范围内,使其 I-V 特性曲线属缓变型.

在消除录音电机噪声方面,缓变型压敏电阻器比突变型的优越.

录音电机的脉冲幅度(即脉冲能量)有大有小,这可以从图 1 所示的录音机噪声波形中看出.

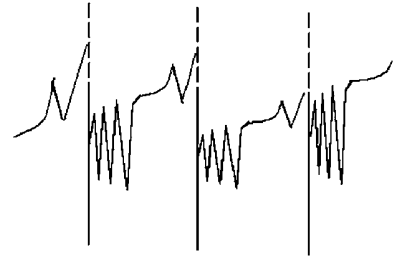
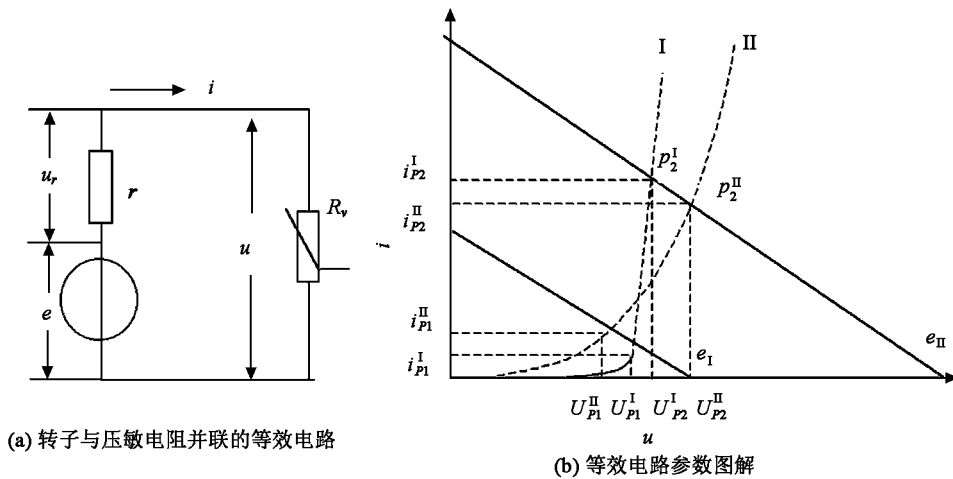


图 1 录音机噪声电压波形

Fig.1 The noise voltage wave of the recorders motor

用于录音机消噪的压敏电阻器,不但要能够吸收大幅度的脉冲,也应有良好的对小脉冲的吸收能力^[2-3].下面,我们用图 2 所示的等效电路来分析和比较突变型和缓变型两种压敏电阻器在录音机消除噪声效果方面的优劣.



(a) 转子与压敏电阻并联的等效电路

(b) 等效电路参数图解

图 2 压敏电阻与转子并联的等效电路及图解

Fig.2 The equivalent circuit and graph of a varistor in parallel with the rotor

图 2(a)表示转子中一组线圈并联一个压敏电阻器的等效电路. e 为转子线圈中的感应电势, r 为线圈绕组的内阻, i 为流过线圈的电流, R_v 表示并联的压敏电阻. 图 2(b)是等效电路的图解; I 是突变型压敏电阻器的伏安特性, II 是缓变型压敏电阻器的伏安特性.

转子和压敏电阻的并联,可以看成是一个线性支路(e, r)与一个非线性支路(R_v)所构成的电路. 线性支路的特性可由式(1)表示

$$e = ir + u. \quad (1)$$

其中,
$$i = \frac{e}{r} - \frac{1}{r}u. \quad (2)$$

e 为转子线圈中的感应电势(即噪声电势); r

是线圈中的直流电阻.

式(2)所表示的为一条直线,在 i 轴上和 u 轴上的截距分别为 e/r 和 e ,非线性支路(压敏电阻器)的特性由式(3)表示.

$$i = (u/c)^\alpha. \quad (3)$$

这是一条通过原点的非线性曲线,如图 2(b)所示的曲线 I(突变型)和 II(缓变型).

由图 2(b)可见,不同的伏安特性曲线的压敏电阻器在消除大、小噪声能量方面效果是不同的. 释放能量大(e_{II})时,剩余电压(残压) $U_{P2}^{II} > U_{P2}^I$,释放能量小(e_I)时,剩余电压 $U_{P1}^I > U_{P1}^{II}$.

上面的不等式表明:突变型电阻器在消除大能量脉冲噪声方面,效果优于缓变型压敏电阻器;而在

消除小能量脉冲噪声时,缓变型压敏电阻器则优于突变型压敏电阻器. 这里所采用的优劣标准是剩余电压越小越好. 因为剩余电压越小,使得压敏电阻器在工作时消耗的无用功就越小. 又因为录音机噪声多为小能量脉冲,所以,在生产中一定要控制压比,使其 I-V 特性曲线属于缓变型.

2 控制压敏电压的方法

2.1 调整配方和烧结温度

当 ZnO 环形压敏电阻器的瓷料系列配方和工艺确定之后,为使产品的压敏电压 (V_{mA}) 有一个高和低的调节范围,其调节方法有两种:

第一种方法是在基本配方中调节掺杂剂的含量. 如基本瓷料系列配方由 ZnO-Co₂O₃-MnO₂-TiO₂-Al₂O₃ 组成,若使压敏电压 (V_{mA}) 下降,则可以适当增加瓷料中的添加剂 Al₂O₃. 因为,高价离子 Al³⁺ 占据正常的 Zn²⁺ 格点,俘获电子作施主运动,形成正电中心,当其含量增加时,瓷料的电导率增高(如图 3 所示),随即梯度电压下降, V_{mA} 也下降,反之亦然^[4-5].

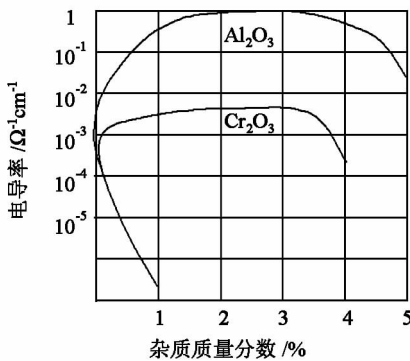


图 3 ZnO 半导体陶瓷中杂质对电导率的影响
Fig.3 Effect of impurities in semiconductive ceramics on the conductive

由于 ZnO 中的杂质是多元的,且存在着相互作用,情况比较复杂,所以,在实际应用中,需通过试验确定具体的比例,以取得理想效果.

第二种方法是调节烧成时的最高温度和在最高温度时的保温时间. 因为,当瓷料配方和工艺确定之后,在最高烧成温度的临界温度之前某一个温度范围内,随温度升高,保温时间越长,其固溶体的晶粒就越涨大,同时,晶界数目减少,由于晶粒的电导率比晶界高,所以使得梯度电压下降,压敏电压随之变低. 图 4 和表 1 是由实验数据绘制而成的,可直观地看出烧结温度对梯度电压的影响.

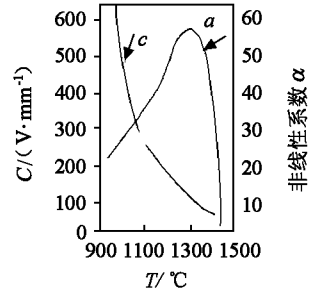


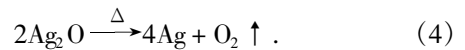
图 4 烧结温度对梯度电压 (C 值) 的影响
Fig.4 Effects of sintering temperature on gradient voltage $C/(V \cdot mm^{-1})$

表 1 烧结温度对梯度电压 (C 值) 的影响
Table 1 Effects of sintering temperature on gradient voltage $C/(V \cdot mm^{-1})$

烧结温度 $T/^\circ\text{C}$	非线性系数 α	梯度电压 $C/(V \cdot mm^{-1})$
850	1	10
900	15	750
950	20	650
1050	25	450
1150	35	270
1250	42	220
1300	45	180
1350	50	150
1400	35	100
1450	1	50

2.2 改进烧银电极工艺

烧银电极,即将 Ag₂O 或银的化合物被覆在 ZnO 半导体瓷片的表面,在一定温度下加热后,被还原成金属银,它附着在瓷片表面,形成电极. 为了提高电极的附着强度,一般还要添加少量的 Bi₂O₃,并用有机溶剂调和成具有一定粘度的浆料. 若用 Ag₂O,它的热分解温度大约在 160~400 °C 之间. 在高温下银的还原热分解过程^[6]可由式(4)表示.



烧渗银电极是一般电子陶瓷所采用的电极. 它的特点是附着力强,连续、致密,比较稳定. 但也存在问题,即在银电极与半导体瓷体之间存在着氧化形成的势垒层,所以,此电极是非欧姆接触,不够理想.

在非欧姆接触的电极烧渗过程中,烧渗温度越高,保温时间越长,降温时间越慢,则压敏电压就越高. 举例说明:假如在接近最高烧银温度的临界温度之前某温度 t ,其银层由表面渗入的深度为 d ,而当温度由 t 上升到 $t + \Delta t$ 时,银层渗入的深度由 d 增加到 $d + \Delta d$,其示意图如图 5 所示.

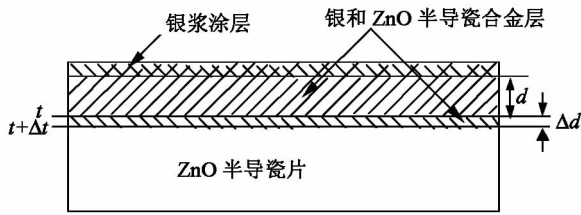


图5 银电极示意图

Fig.5 Sketch of the Ag electrodes

由于合金材料层有势垒存在,所以,相比半导体瓷片是高阻层.当温度升高时,一部分瓷体由低阻层变为高阻层,从而导致整个瓷体的梯度电压增加,压敏电压随之增大.同理,当保温时间延长,降温速度放慢时,也会使高阻层加厚,压敏电压增大,反之亦然.

因此,当瓷片做好后,只要在烧银时调节最高温度的高低、保温时间的长短,以及降温速度的快慢,就可以在一个小的电压范围内控制压敏电压的高低.

3 关于焊后(压)降增大问题的解决

焊后(压)降增大是指压敏电阻器做好之后,在使用时要经过一次焊接,焊接后的压敏电压值比焊接前有所下降,且其下降幅度超出了规定的允许值.

焊后(压)降的产生与非欧姆接触电极有关.这是因为电极是非欧姆接触(高阻层),当焊接时,焊接剂与电极形成新的合金层(低阻层),如图6所示.所以,焊后的压敏电压值比焊前必然要下降.

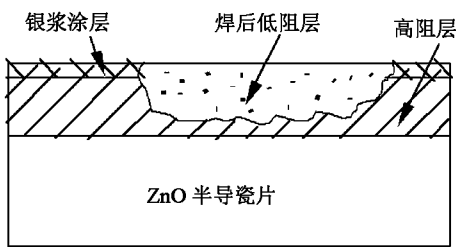


图6 焊接形成的低阻层示意图

Fig.6 Sketch map of the low resistance layer formed by welding

如何解决焊后(压)降增大问题?办法有两个:一是把电极做成欧姆接触或近似欧姆接触,以彻底消除焊后(压)降或仅存有很小的焊后(压)降,这样,就不会有焊后(压)降增大的问题.二是在瓷片和银层之间引入强还原金属,它们能与表层氧结合,破坏上述氧化高阻层,从而使电荷消失,恢复高电子浓度状态,获得高电导率的电极,使焊后(压)降得到改善,且焊后(压)降增大也被随之化解.

作为强还原金属的有Zn, Sn, In等,可以采用蒸

发或涂覆的方法将其附着在电极表面,然后通过热扩散,使其透过银层扩散至界面.扩散的时间与温度,将根据金属的熔点和在银中的扩散系数而定,其温度一般不超过400℃,范围是150~400℃.

4 结论

通过试验与研究,我们得到以下结论:

(1) 在消除录音机噪音方面,I-V特性为缓变型的ZnO压敏电阻优于突变型的.

(2) 调节掺杂剂含量和烧结温度可以调节压敏电压的高低.

(3) 控制烧银温度和保温时间及降温速度,也可在小范围内调节压敏电压的高低.

(4) 可采用在瓷片表面与银层之间引入强还原金属的办法来消除或改善焊后(压)降增大问题.

参考文献:

- [1] 莫以豪,李标荣.半导体陶瓷及敏感元件[M].上海:科学技术出版社,1983.
MO Yi-hao, LI Biao-rong. Semiconductive ceramics and sensitive devices[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1983.
- [2] 李建英,李盛涛,庄严.烧银电极对SrTiO₃环形压敏电阻器性能的影响[J].电子元件与材料,2000,19(6):1-4.
LI Jian-ying, LI Sheng-tao, ZHUANG Yan. Effects of the Ag electrodes on SrTiO₃ varistors' characteristics[J]. Electronic Devices and Material, 2000, 19(6):1-4.
- [3] 庄严,王东民.钛酸锶压敏电阻器在直流电机消噪中的应用[J].微特电机,2004(4):31-33.
ZHUANG Yan, WANG Dong-min. SrTiO₃ The application of varistors to noise eliminating of DC motors[J]. Minimotors, 2004(4):31-33.
- [4] 傅刚.直流微电机用环形低压压敏电阻器的性能比较[J].电子元件与材料,2001,20(2):15-18.
FU Gang. The function comparing of ring low voltage varistors applied to minimotors[J]. Electronic Devices and Material, 2001, 20(2):15-18.
- [5] 孔令兵,张良莹,姚熹.低压压敏材料与应用[J].功能材料,1998,29(3):232-235.
KONG Ling-bing, ZHANG Liang-ying, YAO Xi. Low sensitive voltage materials and applications[J]. Function Material, 1998, 29(3):232-235.
- [6] WU J M, CHEN C J. The effect of Ag electrode processing on (Nb, Ba) doped TiO₂ ceramics[J]. J Mater Sci, 1998, 9(23):18-23.

(编辑:董程英)