

2DW<sup>14-18</sup><sub>242-246</sub>型硅电压基准二极管的研制

宋传立、卫东、马瑞芬

TN315.202

摘 要 本文介绍了2DW<sup>14-18</sup><sub>242-246</sub>型硅电压基准二极管的研制过程及研制结果。

关键词 电压温度系数 基准电压 反向漏电流 动态电阻

Developing for 2DW<sup>14-18</sup><sub>242-246</sub> Type Silicon  
Reference Voltage Diode

SONG Chuan-li WEI Dong MA Rui-fen

**Abstract** This article introduces the development process and result of 2DW<sup>14-18</sup><sub>242-246</sub> type silicon reference voltage diode.**Keywords** Voltage-temperature coefficient Reference voltage Reverse leakage current Dynamic resistance

## 1 前言

2DW<sup>14-18</sup><sub>242-246</sub>型硅平面温度补偿稳压二极管,是为航天部一院、五院等研制的高可靠稳压二极管,该类产品在对可靠性有较高要求的无线电电子设备的精密稳压系统中作电压基准元件用,该管采用PN结隐埋式结构和表面钝化工艺,产品具有稳定性、一致性好、动态电阻小、电压温度系数小、可靠性高等优点。

## 2 结构参数设计

2DW<sup>14-18</sup><sub>242-246</sub>型硅平面温度补偿二极管的特点是采用一反向PN结和一正向PN结串接,利用反向PN结的正温度系数与正向PN结的负温度系数实现补偿,以达到减小稳压管温度系数的目的,该产品设计的难点是选择什么样的衬底材料,使得PN结反向电压的正温度系数与PN结正向电压的负温度系数相等,PN结正向电压的温度系数可由下列式子推出,根据p-n结正向电流的理论公式

$$I_s = I_{s0} e^{(V_1 - V_2)/V_T}$$

$$\text{得到: } V_1 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_s}{I_{s0}}$$

当 $I_s$ 不变时,求 $V_1$ 对 $T$ 的导数得到:

$$\frac{\partial V_1}{\partial T} \Big|_{I_s} = -\frac{KT}{q} \frac{1}{I_{s0}} \frac{dI_{s0}}{dT} + \frac{K}{q} \ln \frac{I_s}{I_{s0}}$$

有关式子 $\frac{1}{I_{s0}} \frac{dI_{s0}}{dT} = \frac{3}{T} + \frac{E_{g0}}{KT^2}$ 及 $\ln \frac{I_s}{I_{s0}} = \frac{qV_1}{KT}$ 代入上式得到:

$$\frac{\partial V_1}{\partial T} \Big|_{I_s} = \frac{V_1}{T} - \frac{3K}{q} - \frac{E_{g0}}{qT} \approx -\frac{E_{g0}/q - V_1}{T}$$

以硅的禁带宽度及常用的正向电压值代入上式,得到硅p-n结正向电压随温度的变化率为 $-2mV/K$ ,

P-n结反向击穿电压的温度系数的大小取决于其中雪崩击穿和隧道击穿所占成分大小,因为雪崩击穿的温度系数是正的,击穿电压随温度升高而升高,隧道击穿电压随温度升高而下降,其温度系数是负的,P-n结雪崩击穿电压的温度系数与衬底的浓度和PN结的杂质密度梯度有关,衬底浓度愈高,P-n结的杂质密度梯度愈大,则雪崩击穿的正温度系数愈小。

根据隧道击穿和雪崩击穿的机理知道,击穿电压大于 $(E_g/q)$ (对于硅是0.7V)时的击穿主要是雪崩击穿,击穿电压小于 $(E_g/q)$ (对于硅是0.5V)时主要是隧道击穿,在 $(E_g/q)$ 到 $(E_g/q)$ 之间(对于硅是0.5V~0.7V之间)是隧道击穿和雪崩倍增效应的结合。只要选好衬底电阻率的大小,控制好隧道效应和雪崩倍增效应成份的大小,就能够使反向击穿电压的温度系数控制在 $+2mV/K$ 左右和正向击穿的温度系数 $-2mV/K$ 基本相等。通过实验证明,反向击穿电压在0.5V左右时p-n结反向击穿电压的温度系数为 $+2mV/K$ 左右,与正向p-n结温度系数 $-2mV/K$ 最接近,这时做出的温补管温度系数可小于 $15 \times 10^{-6}$ 。此时的P型衬底电阻率为 $0.012 \sim 0.006 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

## 3 版图设计

版图设计无特殊要求,以便于光刻,键合为原则设计成长圆环状。

## 4 工艺设计

## 4.1 工艺流程:

一次氧化→一次光刻→磷扩散及二次氧化→二次光刻:引线孔光刻→磨片→蒸铝→铝反刻→合金→钝化→光刻键合孔→钝化膜刻蚀→测试分片→氮氢烘培→装架→氮氢烧结→超声键台→内部目检→封帽→初测→温度循环→镀膜→打印→中间测试→高温反偏→功率老炼→

\* 济南半导体研究所 270061

终点测试→密封→质量一致性检验→合同测→包装→入库检验。

#### 4.2 工艺条件

##### 4.2.1 一次氧化 $T_p=1180^{\circ}\text{C}(\pm 5^{\circ}\text{C})$

$t_1:10\text{min}$  干  $\text{O}_2 + \text{TCE} + 5\text{min}$  干  $\text{O}_2 + 35\text{min}$  湿  $\text{O}_2 + 5\text{min}$  干  $\text{O}_2 + 10\text{min}$  干  $\text{O}_2 + \text{TCE}$

$T_p=95^{\circ}\text{C}$  干  $\text{O}_2=800\pm 10\text{ml/min}$

湿  $\text{O}_2=700\pm 10\text{ml/min}$

携  $\text{TCE}$  小  $N_2=30\text{ml/min}$

$\text{SiO}_2$  厚度:  $0.4 \sim 0.5\mu\text{m}$

##### 4.2.2 磷扩及二次氧化

磷扩散:

$T_p=1100^{\circ}\text{C}(\pm 5^{\circ}\text{C})$   $t_1:5\sim 8\text{min}$  源+ $5\text{min}$  吹氮  
小  $N_2=50\sim 70\text{ml/min}$  大  $N_2=500\text{ml/min}$  小  $\text{O}_2=$

$30\sim 50\text{ml/min}$

二次氧化:  $T_p=980^{\circ}\text{C}(\pm 3^{\circ}\text{C})$

$t_1:5\text{min}$  干  $\text{O}_2 + 10\text{min}$  湿  $\text{O}_2 + 5\text{min}$  干  $\text{O}_2$

$T_p=95^{\circ}\text{C}$   $\text{O}_2=500\text{ml/min}$

##### 4.2.3 减薄蒸铝

减薄后硅片厚度  $d=180\sim 310\mu\text{m}$

蒸铝条件: 蒸发电压  $V=100\sim 110\text{V}$  蒸发时间  $1\text{min}\sim$

$1\text{min}30\text{s}$

真空度大于  $3\times 10^{-4}\text{Pa}$

铝层厚:  $1.8\sim 2.2\mu\text{m}$

##### 4.2.4 合金

$T_p=490^{\circ}\text{C}(\pm 5^{\circ}\text{C})$   $N_2=(1000\sim 1500)\text{ml/min}$   $t_1:$

$25\text{min}$

##### 4.2.5 钝化( $\text{SiO}_2 + \text{Si}_3\text{N}_4$ )

$\text{SiO}_2/N_2\text{O}=350\pm 5\text{ml/min}$   $\text{SiH}_4=150\pm 5\text{ml/min}$

压力:  $62.66\text{Pa}$ ; 射频功率: 入射功率  $70\text{W}$ , 反射率  $0$

温度:  $250\pm 5^{\circ}\text{C}$ , 时间  $10\text{min}$

$\text{Si}_3\text{N}_4/NH_3=550\pm 5\text{ml/min}$   $\text{SiH}_4=200\pm 5\text{ml/min}$ ,  $N_2=100\pm 5\text{ml/min}$

压力:  $40.00\text{Pa}$ ; 射频功率: 入射功率  $150\text{W}$ , 反射功率  $0$ ;

温度:  $250\pm 5^{\circ}\text{C}$  时间:  $30\text{min}$

厚度:  $\text{SiO}_2$  为  $0.13\pm 0.03\mu\text{m}$   $\text{Si}_3\text{N}_4$  为  $0.43\pm 0.05\mu\text{m}$

#### 5 可靠性设计

为了提高器件的可靠性, 我们采取了以下措施来保证器件电参数性能及质量。

a. 一次氧化通三氯乙烯以减少  $\text{Na}^+$  沾污。

表 1 2DW14-18

		稳定电压	动态电阻	反向漏电流	噪声		电压温度系数			长期稳定性
参数符号		$V_Z$	$R_Z$	$I_R$	$V_{NL}$	$V_{NL}$	测试电流 $I_{Z0}$	$C_{TV}$	测试温度	$\Delta V_Z/V_Z$
单位		V	$\Omega$	$\mu\text{A}$	$\mu\text{V}$	$\mu\text{V}$	mA	$10^{-4}/^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	ppm/1000小时
2DW14	A	$6.2\pm 5\%$	$\leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 5$	$\leq 5$	5	$\leq 5$	25, 75	$\leq 2$
	B						7.5			
	C						10			
	D						$I_{Z0}^*$			
2DW15	A	$6.2\pm 5\%$	$\leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 5$	$\leq 5$	5	$\leq 5$	25, 75	$\leq 5$
	B						7.5			
	C						10			
	D						5 $I_{Z0}^*$			
2DW16	A	$6.2\pm 5\%$	$\leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 5$	$\leq 5$	5	$\leq 5$	25, 75	$\leq 10$
	B						7.5			
	C						10			
	D						$I_{Z0}^*$			
2DW17	A	$6.2\pm 5\%$	$\leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 5$	$\leq 5$	5	$\leq 5$	25, 75	$\leq 20$
	B						7.5			
	C						10			
	D						5 $I_{Z0}^*$			
2DW18	A	$6.2\pm 5\%$	$\leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 5$	$\leq 5$	5	$\leq 5$	25, 75	$\leq 40$
	B						7.5			
	C						10			
	D						5 $I_{Z0}^*$			
测试条件	$I_Z=10\text{mA}$	$I_Z=10\text{mA}$	$V_R=1\text{V}$	$0.1\sim 10\text{Hz}$	$10\sim 10\text{KHz}$					$I_Z=I_{Z0}$
$I_{Z0}^*$ 表示每只管子具体给出工作电流值										
极限额定参数: $P_{ZM}=200\text{mW}$ $T_M=175^{\circ}\text{C}$ $I_{ZM}=30\text{mA}$										

表 2 2DWZ32-236

电参数	击穿电压 V <sub>Z</sub> (V)		测试电流 I <sub>Z1</sub> (mA)	微分电阻 r <sub>z</sub> (Ω)	反向电压 V <sub>R</sub> (V)	反向电流 I <sub>R</sub> (μA)	电压温度系数	
							$\alpha_z(T_{A2}=25\pm1^{\circ}\text{C}$ $T_{A2}=T_{A1}+50^{\circ}\text{C})$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	I <sub>Z2</sub> (mA)
测试条件	I=I <sub>Z1</sub>			I=I <sub>Z1</sub>		V=V <sub>R</sub>	I=I <sub>Z2</sub>	
(G)2DWZ32	6.2	±3%	10	<10	3.6	≤1	5	5.0
(G)2DWZ33	6.2		10	<10	3.6	≤1	5	7.5
(G)2DWZ34	6.2		10	<10	3.6	≤1	5	10.0
(G)2DWZ35	6.2		10	<10	3.6	≤1	5	12.5
(G)2DWZ36	6.2		10	<10	3.6	≤1	5	15.0

$$P_{ZM}=200mW \quad I_{ZM}=300mA \quad T_{JM}=150^\circ C$$

b. 表面  $Si_3N_4$  钝化, 有效地阻控  $Na^+$ , 克服  $Na^+$  漂移, 保护芯片表面。

c. 采用抽真空充氮封帽工艺, 改善封帽后的管壳气氛。

按以上设计与工艺, 我们研制的 2DW 硅电压基准二极管所能达到的电参数如下:

#### 6 参考文献

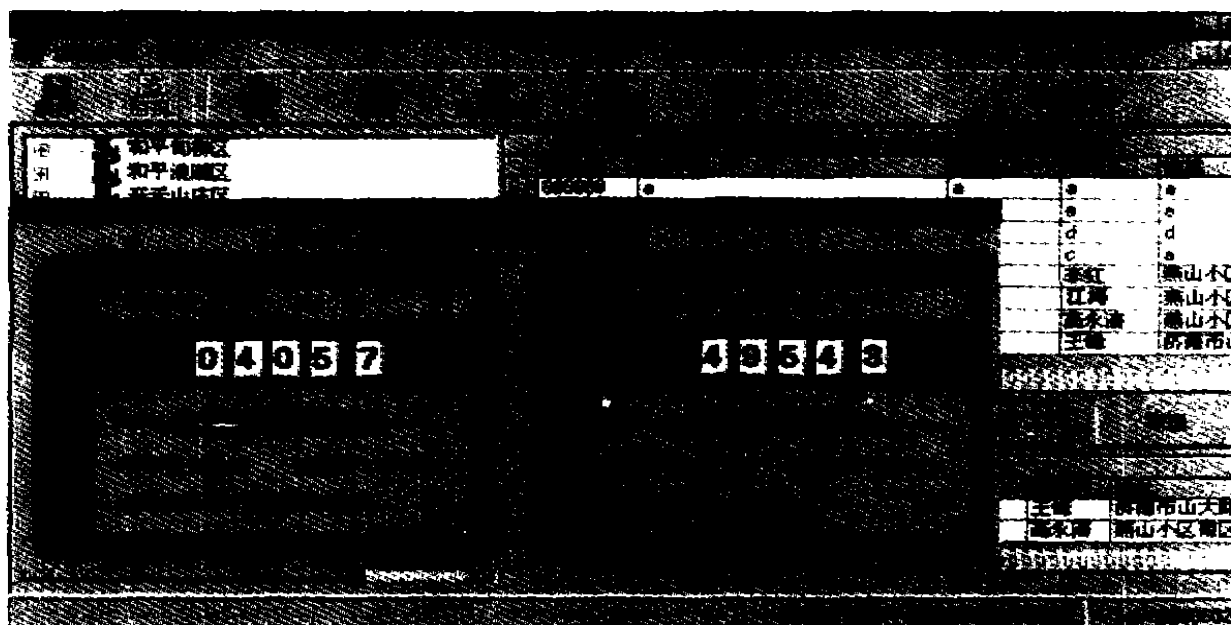
1 宋尚辛, 徐义明. 晶体管原理. 国防工业出版社, 1992-09

2 复旦大学物理系. 半导体器件工艺原理. 人民教育出版社

3 C. R. Crowell, S. M. Sze. Temperature Dependence of Avalanche Multiplication in Semiconductors, Appl. Phys. Lett. 1966, 6(9)

4 P. Keresztes et. al. Theoretical Model for Calculation of Breakdown Voltage of Implanted p-n Junctions, Solid State Electron. 1976, 5(13)

收稿日期: 2000-04-24



#### 1. 摩托/汽车行业 MIS 系统

#### 2. 低压电力线载波扩频抄表系统

山东省电子产品监督检验所

地址: 济南市山大路 185 号

邮编: 250014

电话: 6992343-8009 6990602

网址: <http://www.wfenggao.caizer.com>

E-mail: wfeng67@sma.com