

# 硅片少子寿命的直排四探针测试

周全德

(上海市计量测试技术研究院(中国上海测试中心), 上海市微电子分析测试重点实验室, 上海 200233)

**摘要:** 用直排四探针方法测试硅抛光片的电阻率时, 减少表面复合和增大测试电流故意引进注入使电阻率减少, 根据电导率与少数载流子寿命成正指数增加的关系, 求得少子寿命.

**关键词:** 少子寿命; 直排四探针; 电阻率测试; 注入

**PACC:** 7280      **EEACC:** 2520

**中图分类号:** TN 304. 07      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-4177(2001)03-0292-03

## 1 引言

近三十多年来测试硅单晶少子寿命的方法和仪器已报道过不少<sup>[1,2]</sup>, 都各有千秋, 要算直流光电导衰退法和高频光电导法最成熟、最普遍. 但测试直流光电导的样品要经过制样和上电极, 很麻烦. 而高频光电导法则只能测硅单晶的平均少子寿命. 采用激光和微波等方法可以测试硅单晶薄片的少子寿命, 但设备庞大. 我们用四探针电阻率测试仪来测试抛光的硅单晶和硅片的少子寿命, 是在四探针电阻率测试时, 通过增大测试电流故意引进注入, 减少表面复合的办法, 测量电阻率变化来求得少子寿命. 在测出硅片截面电阻率分布的同时也可测出它的少子寿命分布, 测试简便、迅速, 无需增加其它设备.

## 2 原理

在四探针电阻率测试时, 处在正向偏置探针下注入的少数载流子扫到内探针附近而使电阻率改变. 电导变化  $\Delta\sigma$  是少子注入及焦耳热所引起的导电变化. 焦耳热引起电阻率变化, 造成电阻率测量误差, 这可通过样品散热装置和极短的通电时间使它尽量减少. 注入的少子被扫过样品时, 电阻率减

少的程度取决于测试时电流  $I$  的大小、样品的真实电阻率  $\rho_0$  和外探针 1、4 间的距离  $L$ . 如果少数载流子寿命  $\tau$  长到足够让少数载流子达到内探针时, 则电导率变化与使用电流时少数载流子寿命成正自然指数增加, 在忽略表面复合的情况下, 电阻率变化为<sup>[3]</sup>:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = qe^{-\frac{\pi L^3 G}{2I\rho_0\mu\tau}} \quad (1)$$

式中

$q$  是取决于探针与硅片表面的接触处状况;  
 $G$  是与几何形状有关的因子, 据文献[2]为 0.118;  
 $I$  是 1、4 探针之间的电流;  
 $L$  是 1、4 探针间距;  
 $\tau$  是少子寿命;  
 $\mu$  是迁移率.

设:  $I_0, I_1, I_2$  为三次测试时使用的小、中、大档电流;

$\Delta_1\rho$  为小、中两档电流测得的电阻率差;  
 $\Delta_2\rho$  为小、大两档电流测得的电阻率差.

经数学变换, 并令  $K = \frac{I_1 I_2}{I_1 - I_2} \ln \frac{\Delta_1\rho}{\Delta_2\rho}$

可求得       $\tau = \pi L^3 G / 2\rho_0\mu K \quad (2)$

周全德 男, 1941 年出生, 高级工程师, 从事半导体材料测试分析.

2000-01-11 收到, 2000-04-05 定稿

©2001 中国电子学会

### 3 测试条件与步骤

#### 3.1 测试条件

(1) 为了减少复合, 要求样品表面清洁和表面抛光或要求光洁度在 $\nabla_9$ 以上.

(2) 探头压力在0.50—0.75kg为宜, 压力太小不利于欧姆接触, 太大不利于减少复合, 而且要在整个测试过程中始终保持探头与试样接触不变.

(3) 在测试时选择好大、中、小三档电流很重要. 通常其中最小档电流就是电阻率测试时规定的电流, 大、中、小三档电流之间应相差大些为宜, 一般为一个数量级左右.

(4) 样品要有散热装置, 尽量避免在测试时因内部发热造成误差. 整个一次测试完毕不能马上重复测试, 需要隔一段时间待内部温度和注入的影响消失, 方可重新测试.

(5) 测试时操作要熟练、迅速、尤其在用较大电流和大电流时, 快速测试对测准寿命显得更为重要.

(6) 其他条件与测试电阻率的条件一样, 如恒温、恒湿、避光、无震等.

#### 3.2 测试步骤

(1) 将样品放入带有散热装置的测试台上, 轻轻放下探头, 探头压力控制在0.5—0.75kg左右, 并在整个测试过程中始终保持不变, 不能再碰它.

(2) 按规定测试电阻率的电流 $I_0$ , 测得 $\rho_0^{[3]}$ .

(3) 保持探头不动和其他条件不变, 迅速改用较大的电流 $I_1$ , 测得 $\rho_1$ .

(4) 同上条件, 再迅速用大电流 $I_2$ 测得 $\rho_2$ .

(5) 然后切断电源, 把探头提起.

(6) 按公式(2)进行计算.

### 4 测试结果与比较

对不同直径、厚度、导电型号和电阻率值的硅单晶块、硅单晶研磨片、抛光片样品, 用SZ-82型四探针电阻率测试仪按本方法测得的寿命结果与用高频法和激光法寿命测试仪测得的寿命结果见表1.

表1 用不同方法对各种样品测得的少子寿命比较

Table 1 Comparison of Minority Carrier Lifetime Obtained by Different Methods

编号	$\rho/(\Omega \cdot \text{cm})$	样品		型号	$\tau/\mu\text{s}$	高频法 $\tau/\mu\text{s}$	激光法 $\tau/\mu\text{s}$	四探针法 $\tau/\mu\text{s}$	$\Delta \cdot \bar{\tau}^{-1}/\%$	$\Delta \cdot \bar{\tau}^{-1}/\%$	$\Delta \cdot \bar{\tau}^{-1}/\%$	
		$\phi/\text{mm}$	$W/\text{mm}$									
P(29)	25.9	40	5	P	100		114		+ 13			
N(41)	75.6	42	5	N	130		127		- 2			
N-C <sub>1</sub>	73.5	38	5	N	250	450	247		- 1	- 59	- 59	
P(14)	52	42	5	P	90—100	110	93		- 2	- 17	- 15	
N(50)	46	42	5	N	100	200—210	95—108		+ 1	- 68	- 69	
N-41	66.9	36	5	N	200	250	145		- 32	- 53	- 22	
P(26)	37	42	5	P	47		57		+ 19			
N(42)	45	42	5	N	95	150	121		+ 24	- 21	- 45	
N(39)	5.1	42	5	N	360		238		- 41			
P(31)	2.1	42	5	N	42		87		+ 70			
901	8—13	38	0.4	P		9—10	20			+ 67		
华山	5—8.5	38	0.4	N		22	97			+ 125		
虹跃	51	38	0.4	P		9—10	19			+ 66		
WACKER	5—7	38	0.4	P		16	34			+ 72		
平均相差												- 41.6%

注: 表中单独“四”、“高”、“激”分别表示四探针法、高频光电导法和激光法

### 5 结论与讨论

1. 从测试结果的比较表中可看出以下结论:

(1) 正像测准硅片电阻率需要使用规定范围内的电流一样, 要测准它的少子寿命也需在测试时使

用合适的电流. 除了个别样品寿命外, 用四探针法测得的寿命与高频法测得的寿命结果接近, 一般相差小于30%, 相差较大的是电阻率2.1 $\Omega \cdot \text{cm}$ 和5.1 $\Omega \cdot \text{cm}$ 样品.

(2) 四探针法与激光法测得的寿命相比, 相差较大, 但和高频法测得的寿命与激光法测得的寿命的

结果比较接近。

## 2. 讨论

理论上样品的厚度和表面状态对四探针测少子寿命有影响, 影响大小和如何修正还需通过进一步的理论计算和试验研究来确定。

**致谢** 在测试比较中曾得到上海市计量测试技术研究院陈春仙、谢启耀二位高级工程师以及上海大学吴正纯副教授的协助, 在此一并表示感谢。

## 参考文献

- [1] 中国科学院半导体研究所理化分析中心研究室, 半导体的检验与分析, 北京: 科学出版社, 1984, 448—464.
- [2] W. R. 鲁尼安, 上海科技大学半导体材料研究室译, 半导体测量和仪器, 上海: 上海科学技术出版社, 1980, 104—124.
- [3] J. K. Hargreaves and D. Millard, *J. Appl. Phys.*, 1962, **13**: 231—234.
- [4] Annual Book of ASTM, 1978, **F84- 73**, 402—418.

# Measurement of Minority Carrier Lifetime on Silicon Wafers with Collinear Four-Probe Array

ZHOU Quan-de

(Shanghai Key Laboratory of Microelectronic Analysis and Test, Shanghai Institute of Metrology and Testing Technology (National Center for Testing Technology), Shanghai 200233, China)

**Abstract:** The resistivity of polished silicon wafers can be reduced by reducing the surface recombination and increasing the measuring current intentionally during the measurement of resistivity with a collinear four-probe array. The minority carrier lifetime can be obtained according to the exponent relation between the resistivity and the minority carrier lifetime.

**Key words:** minority carrier lifetime; collinear four-probe array; resistivity measurement; injection

**PACC:** 7280      **EEACC:** 2520

**Article ID:** 0253-4177(2001)03-0292-03

ZHOU Quan-de male, born in 1941, senior engineer. He is engaged in the measurement and analysis of semiconductor materials.

Received 11 January 2000, revised manuscript received 5 April 2000

©2001 The Chinese Institute of Electronics