

用改进的图形结构测量金属/薄层 半导体的接触电阻率

华文玉

(南京理工大学应用物理系 南京 210094)

陈存礼

(南京大学物理系 南京 210093)

摘要 提出一种诊断金属/薄层半导体欧姆接触质量的改进测试图形——单点圆环结构模型。本结构不仅样品制备简单,只需做上一个小圆点和一个同心的圆环接触,无需台面绝缘,而且还有多样的灵活性。整个测试都是定域在一个小圆环内,无需考虑边界效应以及邻近其他图形的影响。发展和讨论了此模型的两种演变结构形式,使之更为简捷实用。所得结果与文献的报道一致。

EEACC: 2530D, 0590, 2180

1 引言

无论是对半导体物理、材料和器件进行其性能研究或是生产的工艺制造,都必须要有—些金属电极与其形成欧姆接触。接触质量的优劣将直接影响着物理性能和器件的质量。欧姆接触性能的好坏是用一个叫做接触电阻率(又称比接触电阻)的参数 $\rho_c / (\Omega \cdot \text{cm}^2)$ 来定量标志的。如何准确而简便地得出 ρ_c 无疑是非常重要的。对于金属/薄层半导体接触求得 ρ_c 的方法可以分为两类:一类是需要有一个台面绝缘结构^[1~3],另一类则无需台面绝缘^[4~6]。后者的样品制备较为简单。

本文提出一种求得金属/薄层半导体的接触电阻率的改进测试图形——单点圆环结构模型。它不仅制备样品简单,无需台面绝缘,还有多样的灵活性。

华文玉 女,教授,主要从事凝聚态物理方面的研究工作
陈存礼 男,教授,主要从事半导体材料、材料物理等方面的研究工作
1996年5月20日收到初稿,1996年11月22日收到修改稿

2 单点圆环结构模型

设在具有方块电阻为 ρ_s 的半导体薄层样品上, 有一半径为 r_1 的金属小圆 1 和一个内、外半径分别为 r_2, r_2' 的同心金属圆环 2 与之相接触, 如图 1 所示. 如果在圆点 1 与圆环 2 之间的空隙处放一金属探针 3, 令其至圆心的距离为 s , 则当 1、2 两金属电极通上电流 i_{12} 之后, 测得 1、3 间的电压 V_{13} , 我们定义电阻 $R_{12,13} = \frac{V_{13}}{i_{12}}$, 于是有

$$R_{12,13} = \frac{V_{13}}{i_{12}} = R_{c1} + R_{b13} \quad (1)$$

式中 R_{c1} 为金属电极 1 与半导体的接触电阻; R_{b13} 为流经薄层半导体体内的电流引起的 1、3 间的体电阻. 类似地有

$$R_{13,12} = \frac{V_{12}}{i_{13}} = R_{c1} + R_{b12} \quad (2)$$

这里 R_{b12} 为流经半导体体内的电流引起的 1、2 之间的体电阻.

考虑到在无限大薄层样品上的圆形电流源^[5]和点电流源的电势分布, 于是有

$$R_{12,13} = R_{c1} + \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{s}{r_1} \quad (3)$$

$$R_{13,12} = R_{c1} + \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{r_2(s - r_1)}{r_1(r_2 - s)} \quad (4)$$

由于电流从金属电极流向薄层半导体时, 同时有纵向的流动和模向的扩展, R_{c1} 必须通过圆形传输线模型^[5]求出. 设圆形电极之下与圆形电极之外的 ρ_s 相同, 则有

$$R_{c1} = \frac{\rho_s}{2\pi\alpha r_1} \frac{I_0(\alpha r_1)}{I_1(\alpha r_1)} \quad (5)$$

式中 $I_0(\alpha r_1)$ 与 $I_1(\alpha r_1)$ 分别为第一类零级和第一类一级变形的贝塞尔函数. $\alpha = (\rho_s/\rho_c)^{1/2}$ 为圆形传输线的衰减常数.

3 实验与结果

样品是 $1 \sim 10 \Omega \cdot \text{cm}$ 有 P 型 $\langle 100 \rangle$ 直拉硅单晶抛光片, 分成两半. 一半扩磷形成 N^+ 浅层后再经蒸 Al、光刻、合金化等平面工艺做上如图 1 的图形, 同时做上文献[5]的图形. 另一半硅片则用相同的工艺条件制成线性传输线图形^[7,8].

经(3)、(4)两式的两次测量, 同时测出距离 s 之后, 结合(5)式便可求出接触电阻率 ρ_c . 同时对文献[5]的图形和线性传输线图形进行测量, 求出 ρ_c 与本模型的结果进行比较. 实验

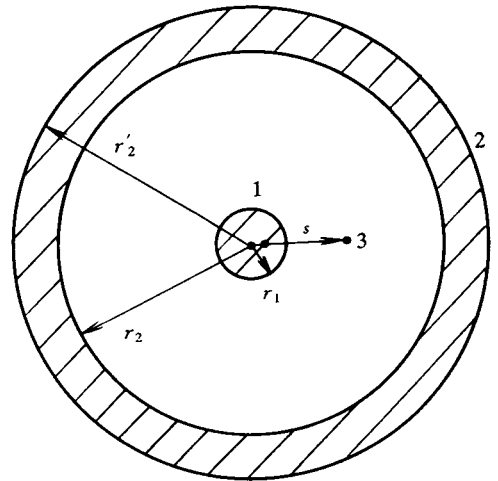


图 1 改进的测试图形——单点圆环结构

结果列于表 1, 可以看到本方法与其他方法的结果是符合得很好的.

表 1 不同方法的接触电阻率测量结果

方法或来源	样品结构参数/ μm	$\rho_c/(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	$\bar{\rho}_c/(\Omega \cdot \text{cm}^2)$
单点圆环结构模型 (3 点为金属探针)	$r_1=50$ $r_2=420$ $r_2'=470$	$(3.46 \sim 4.92) \times 10^{-5}$	3.93×10^{-5}
文献[5]	$a=50$ 方形边长=1500	$(2.01 \sim 5.64) \times 10^{-5}$	3.52×10^{-5}
线性传输线 模 型	$l_1=50$ $l_2=500$ $W=50$ $W'=40$ $a=20$	$(1.42 \sim 5.15) \times 10^{-5}$	4.02×10^{-5}
单点圆环结构模型 (3' 点为小圆盘)	$r_3=50$	$(3.62 \sim 3.68) \times 10^{-5}$	3.66×10^{-5}

4 讨论

1) 测量时为减小误差, 通常都采用四端法, 所以无需另外配置探针 3, 很自然地将四端测量中的一个金属探针压在 3 处即可. 虽然 3 点的接触情况与 1、2 两处的某些特殊金属(这里是 Al)图形接触不同, 但从(3)、(4)两式的测量来看是没有什么影响的, 我们以前的工作^[9]也说明了这一点. 即使如此, 我们仍然对探针进行了特殊的处理(例如涂敷 Au 或 Ti). 另外, 整个测量都限定在一个圆环的区域内, 因而不必虑及边界效应和邻近其他图形的影响.

2) 如果用一个半径为 r_3 的小圆盘来代替金属探针 3, 并设从小圆盘的中心到圆心的距离为 l , 则有

$$R_{12,13} = \frac{V_{13}}{i_{12}} = R_{c1} + \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{l - r_3}{r_1} \quad (6)$$

$$R_{13,12} = \frac{V_{12}}{i_{13}} = R_{c1} + \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{r_2(l - r_1)}{r_1(r_2 - l)} \quad (7)$$

同样结合(5)式可得金属/薄层半导体的接触电阻率 ρ_c . 经实测其结果与 3 处为点接触的结果完全一致(见表 1).

实际上(3)、(4)两式仅是(6)、(7)两式的一个特例. 因为点接触情况可看作 r_3 很小, 再让 $l=s$, 则(6)、(7)两式就是(3)、(4)两式. 这是本结构模型的一个特点. 设计测试图形时, 同时将小圆盘 3 做在样品上, 则测量与计算更为简便. 如果先用其他的方法(例如直线四探针法)测出样品的方块电阻 ρ_s , 则可更为方便地仅作(3)式或(6)式的一次测量, 即能求得接触电阻率 ρ_c .

3) 在本结构模型中, 无论 3 处是点接触还是圆盘接触, 其圆环外径 r_2' 的大小可任意设

计而毫无影响. 这是本结构模型的又一特点. 为此, 如果我们把圆环的外径 r'_2 设计得足够大, 以致圆环 2 的面积 A_2 远大于圆盘 1 的面积 A_1 , 这样可用:

$$R_{12,12} = \frac{V_{12}}{i_{12}} = R_{c1} + \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} + R_{c2} \quad (8)$$

的测量来代替(4)式或(7)式的测量.

由于 $A_2 \gg A_1$, 只要这个条件能满足 R_{c2} 比 R_{c1} 和 $\frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1}$ 小得多(这个条件在一般器件中是不难得到满足的), 则(8)式便简化为

$$R_{12,12} = R_{c1} = \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (8')$$

用(8')和(3)两式, 再结合(5)式同样可求出此金属与薄层半导体的接触电阻率 ρ_c . 这种情况下, 由于两次测量都是在 1、2 间通电流, 其电场的分布是径向对称的, 因而更可消除侧向电流集聚效应.

4) 本结构模型中, 用了一个金属电极之下与金属电极之外的 ρ_s 是相同的假定. 实际上, 由于有了金属电极, 其接触之下与接触电极之外的 ρ_s 是不相同的. 但根据文献[6], 在圆形传输线模型中, 与线性传输线模型不同的是即使计及这个因素, 得到的结果也基本上是一样的. 所以上面的假定并不是必须的.

5) 本方法虽以 Si 作为例子进行测量运算, 对其他半导体材料例如 GaAs 亦应同样适用. 但所有样品必须是金属/薄层半导体结构. 如何使其形成良好的欧姆接触(特别是对亚微米的浅结器件), 这在工艺技术上是很有讲究的. 这方面有许多专门研究, 例如可在金属 Al 与半导体硅之间加一层称之为扩散势垒诸如掺杂多晶硅、硅化物(TiSi₂、TiN_xO_y/TiSi₂ 等)的过渡层, 或是合金化时采用诸如激光辐照、卤灯照射、裸石墨加热等瞬时快速热退火, 甚至无需合金化以抑制由 Al-Si 之间的互扩散引起的结的尖峰效应而导致 PN 结的特性变坏甚至短路. 这方面有许多专门研究, 这些不是本文研究的内容, 可参阅我们以前做过的一些工作^[10].

致谢 样品的制备得到南京半导体特种器件厂和 8511 所的帮助, 特此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] W. Shockley, Report No. Al-Tor-64-207, Air Force Atomic Lab, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, Sep. (1964).
- [2] H. H. Berger, Solid-State Electronics, 1972, 15:145.
- [3] S. J. Proctor and L. W. Linhoem, IEEE Electron Device Lett., 1982, 3:294.
- [4] G. K. Reeves, Solid-State Electronics, 1983, 23:487.
- [5] 陈存礼, 半导体学报, 1983, 4:191.
- [6] 陈存礼, 徐世晖, 半导体学报, 1987, 8:102.
- [7] 陈存礼, 范仁永, 半导体学报, 1983, 4:502.
- [8] 陈存礼, 电子学报, 1984, 12:105.
- [9] 陈存礼, 华文玉, 应用科学学报, 1989, 7:61.
- [10] 华文玉, 陈存礼, 薄膜科学与技术, 1993, 6:49.

Improved Test Pattern for Measuring Contact Specific Resistance of Metal/Thin Semiconductor Layer

Hua Wenyu

(Department of Applied Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Chen Cunli

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093)

Received 20 May 1996, revised manuscript received 22 November 1996

Abstract An improved test pattern—A dot with concentric ring configuration model—to characterize ohmic contact quality of metal/thin semiconductor layer is developed. The test pattern needs only one dot with concentric ring, the mesa isolation of the contact pattern is omitted, thus the sample fabrication is simplified. Boundary effect and influence of nearby other patterns are not considered, because the tests are located in the ring. It has a great diversity of variety configuration, two evolution structures are developed and discussed. The experiment results are in good agreement with that of references.

EEACC: 2530D, 0590, 2180