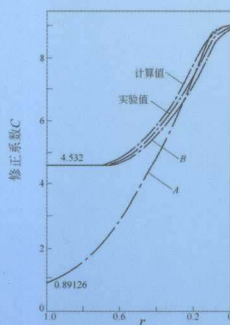
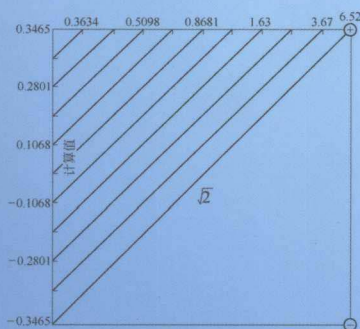


电阻率测试 理论与实践

孙以材 汪鹏 孟庆浩 著



$$\exp[-(U_1 + 0.3465)] + \exp[-(U_2 + 0.3465)] = 1$$

$$\exp(-U_1) + \exp(-U_2) = \sqrt{2} \quad R_s = \frac{\pi}{2\ln 2} \left(\frac{V_1 + V_2}{I} \right) f(V_1/V_2)$$

$$\exp\left(-\frac{\pi V_1}{IR_s^*}\right) + \exp\left(-\frac{\pi V_2}{IR_s^*}\right) = 1 \quad R_s = \frac{\pi}{\ln 2} \left(\frac{V_{34} + V_{13}}{I} \right) f\left(\frac{V_{13}}{V_{34}}\right) F_{\text{sun}}^*$$

$$\exp\left(-\frac{2\pi V_{34} F_{\text{sun}}^*}{IR_s}\right) + \exp\left(-\frac{2\pi V_{13} F_{\text{sun}}^*}{IR_s}\right) = 1$$



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

电阻率测试理论与实践

孙以材 汪 鹏 孟庆浩 著

冶金工业出版社

2011

内 容 简 介

本书以电阻率测量中广泛使用的探针技术为对象,以作者多年的相应测试实践对电阻率测试中许多理论问题作了深入探讨,具体包括:四探针法电阻率测量基本原理、静电场数值计算有限元方法、范德堡法及其改进法电阻率测量基本原理、鲁美采夫斯基法及其改进法电阻率测量基本原理、电阻率 Mapping 技术、电阻率测试的 EIT 技术、外延片的电阻率测试、接触电阻的测量、电阻率测试的测准条件。

本书可供从事传感器与半导体材料相关专业的研究人员和大专院校师生阅读,也可供生产实践的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电阻率测试理论与实践/孙以材,汪鹏,孟庆浩著.

—北京:冶金工业出版社,2011.3

ISBN 978-7-5024-5511-8

I. ①电… II. ①孙… ②汪… ③孟… III. ①电阻率—测试 IV. ①O441.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 035968 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcsb@cnmip.com.cn

责任编辑 李 梅 于昕蕾 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5511-8

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 3 月第 1 版,2011 年 3 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;10 印张;267 千字;307 页

32.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

◎ 前 言 ◎

半导体材料是集成电路的基础材料。它的电阻率，特别是微区电阻率均匀性，是影响集成电路成品率和优品率的重要因素之一。随着集成电路的发展，图形线宽、特征尺寸已达 $0.1\mu\text{m}$ 以下，因此对材料的电阻率均匀性要求越来越高，迫切需要能分辨 0.5mm 以下的微区电阻率。但是目前广泛使用的直线或方形四探针，只能分辨 3mm 以上区域的电阻率均匀性，不能适应和满足当前发展的需要。

本书以电阻率测量中广泛使用的探针技术为对象，对电阻率测试中许多理论问题作了深入讨论，如静电场有限元理论、图形变换理论、镜像源理论、互易定理及其证明，为创造新的测试法打下坚实基础。本书将有限元理论应用于不同形状的二维平面，得到有测试图形微区薄层电阻测试改进的范德堡法、无测试图形微区薄层电阻测试改进的鲁美采夫斯基法及反偏二极管电场分析；又将有限元应用于三维电流场，可实现如三维各向异性晶体的电阻率的测量；应用镜像源理论可得到有限厚度样品测试时的计算公式，同时指出当方形样品用非对称位置四探针测试时会产生错误。本书中将 Mapping 技术作为一章进行介绍，利用所发明的改进的范德堡法测试绘制出硅片的电阻率分布，利用改进的鲁美采夫斯基法测试结果，并结合模糊数学理论分类数据，绘制出硅片电阻率等值线条纹，用于指导晶体生长。本书将当前广泛应用的神经网络先进算法及作者所发明的规范化非线性函数多项式拟合法，用于表达 Van der Paw 函数及半导体电阻率温度系数

II 前 言

与电阻率的关系，以提高测试速度；深入分析了界面态对外延片电阻率 $C-V$ 法测试的影响，并提出了消除办法；利用单探针技术测定外延层电阻率纵向分布，结合所提出的气相杂质掺入模型，从而确定微分方程中的诸常数。

国际上 21 世纪初用 EIT（电阻抗成像）技术检测人体器官病变，本书中作者结合自己的实践，专辟一章，将有限元逆问题及图像重构相关的 EIT 技术，用于大型硅片电阻率不均匀性测定。书中对集成电路引线接触电阻率测量作了深入理论分析和试验测定，得到接触窗面积和接触电阻的关系、接触电阻退火激活能及接触电阻率提取方法。

虽然探针技术相对于霍尔及红外光谱等技术精度要高得多，笔者认为还是有必要在最后对电阻率测试探针技术的精度作系统分析，特别是用二维电流场少子注入时的电流连续性方程诠释了少子注入强度、针距、样品电阻率与少子寿命对少子的牵引半径等的影响，为微区测量及其精度提供了理论依据。本书还介绍了硅中氧对电阻率测量的影响。

希望本书能对生产实践的工程技术人员有一定的指导作用；也可供科学研究工作者参考，期望为他们的创新和发展抛砖引玉。

作 者

2010 年 9 月 30 日

◎ 目 录 ◎

1 绪论	1
1.1 电阻率测试对半导体材料与器件的重要性	1
1.2 电阻率测试对工业领域的重要性	4
1.3 电阻率测试对地质物探领域的重要性	5
1.4 电阻率测试对医学领域的重要性	6
1.4.1 脑中风的检测与监护	7
1.4.2 肺梗塞的诊断	8
1.4.3 乳腺肿瘤的诊断	8
1.4.4 其他应用	9
2 四探针法电阻率测量基本原理	10
2.1 电阻率测量的实质问题——反演问题	10
2.2 四探针技术在半导体测量领域中的应用	11
2.2.1 作为最为广泛的工艺监测手段之一	11
2.2.2 测试抛光的硅单晶和硅片的少子寿命	12
2.2.3 评估 VLSI 互联金属薄膜可靠性	12
2.3 四探针技术在其他方面的应用	13
2.3.1 用于构件和材料的无损检测	13
2.3.2 作为芯片内部质量探测分析的工具	13
2.4 四探针法的分类	13
2.4.1 直线四探针法	14
2.4.2 方形四探针法	15
2.4.3 范德堡法	15
2.5 四探针技术的研究现状	16
2.6 拉普拉斯方程及其在三维电流场中的分析解	17

IV 目 录

2.6.1	直线四探针法的原理	17
2.6.2	直线四探针法的测准条件简述	21
2.7	拉普拉斯方程及其在平面电流场中的分析解	24
2.8	直线四探针法的测量区域的局限性	25
2.9	四探针法中的边缘几何效应修正及镜像源理论	27
2.9.1	四探针法中的边缘几何效应修正	27
2.9.2	直线四探针法中镜像源理论的厚度修正	30
2.10	两种四探针法的几何效应修正的相关性	32
2.10.1	引言	32
2.10.2	推论及其结果	33
2.10.3	实验验证结果	36
2.10.4	小结	38
2.11	四探针法中的几种图形变换理论简介	39
2.12	电阻率测量中的互易定理及其证明	41
2.12.1	互易定理的定义	41
2.12.2	Kirchhoff 方程	41
2.12.3	Kirchhoff 方程的解	42
2.12.4	在回路中设置电阻器 R_{pq} 和 R_{mn}	43
2.12.5	在电阻率测试的薄层样品中的互易定理	47
2.12.6	体电阻率测量时的互易定理及其证明	48
3	静电场数值计算有限元方法	50
3.1	静电场中重要定律和方程	50
3.1.1	欧姆定律	50
3.1.2	奥-高定律	50
3.1.3	静电场中的泊松方程	51
3.1.4	高斯定理	52
3.1.5	格林定理	52
3.1.6	静电场能量	53
3.2	变分原理与泛函	54



3.2.1 变分原理与泛函	55
3.2.2 场域中存在电荷时泛函 $L(\phi)$	55
3.3 静电场有限元法的计算过程	56
3.3.1 场域的剖分与函数的近似表示	56
3.3.2 泛函的计算过程	60
3.3.3 综合方程的系数矩阵形式	63
3.3.4 强制边界条件的处理	64
3.3.5 对称带形方程组的解法	65
3.4 电流场中重要方程	66
3.4.1 电流场中电学连续方程	66
3.4.2 电学连续方程相应的泛函	67
3.5 反偏二极管的计算机辅助设计	68
3.5.1 基本方程	68
3.5.2 按有限元法求解泊松方程	70
3.5.3 计算结果及实用意义	75
4 范德堡法及其改进法电阻率测量基本原理	78
4.1 保形变换法推导范德堡方程	78
4.1.1 半无穷大薄样品的 Van der Pauw 方程的推导	78
4.1.2 任意形状薄样品的 Van der Pauw 方程的推导	79
4.2 图形变换理论推导范德堡方程	82
4.2.1 图形变换方法	82
4.2.2 图形变换的计算方法	84
4.3 有限元理论推导范德堡方程	91
4.4 改进的范德堡法的推导	95
4.4.1 改进的范德堡法的要领	95
4.4.2 基本原理	97
4.4.3 实验结果	105
4.4.4 十字形样品中范德堡方程的推导	106
4.5 范德堡函数的多项式表示	108

VI 目 录

4.5.1	引言	108
4.5.2	范德堡函数的局域反演和全局反演	109
4.5.3	范德堡函数非线性多项式在硅单晶圆片 测试中的应用	113
4.5.4	范德堡函数非线性拟合多项式的误差分析	114
4.5.5	小结	115
4.6	神经网络计算法	115
4.6.1	人工神经网络模型	116
4.6.2	人工神经网络的分类	117
4.7	无学习率权值调整神经计算法拟合范德堡函数 多项式	119
4.7.1	样本数与权值数相等的神经网络拟合算法 拟合范德堡函数	120
4.7.2	样本数大于权值数时误差迭代下降的神经 网络拟合算法	128
5	鲁美采夫斯基法及其改进法电阻率测量基本原理	141
5.1	鲁美采夫斯基直线四探针法电阻率测量基本原理	141
5.2	鲁美采夫斯基法电阻率测量厚度修正	142
5.3	方形四探针改进的鲁美采夫斯基公式的推导	145
5.3.1	测试原理	146
5.3.2	游移对测试结果的影响	147
5.4	方形样品中直线四探针鲁美采夫斯基法	152
5.4.1	方法概述	152
5.4.2	原理	153
5.4.3	计算结果	156
5.5	方形四探针改进的鲁美采夫斯基法的厚度修正	159
5.5.1	方形探针测试法的厚度修正	159
5.5.2	非线性厚度修正系数的规范化多项式拟合	163
5.5.3	试验验证	163



5.5.4 小结	164
5.6 各向异性样品电阻率测量的有限元法	164
5.6.1 电阻率各向异性样品三维场域 Ω 的剖分	164
5.6.2 泛函的计算过程	165
5.6.3 各向异性三维样品电阻率的 FEM 计算	166
6 电阻率 Mapping 技术	170
6.1 对微区电学参数的测试要求	170
6.2 数据采集系统	170
6.3 数据显示方法	172
6.4 有测试图形改进的范德堡法的 Mapping 技术	176
6.4.1 微区薄层电阻测量所用方法	176
6.4.2 测准条件分析	178
6.4.3 测量结果	179
6.5 无测试图形改进的鲁美采夫斯基的 Mapping 技术	181
6.5.1 引言	181
6.5.2 模糊数学在硅片上电阻率等值线连接中的应用	184
7 电阻率测试的 EIT 技术	200
7.1 EIT 技术基本原理	200
7.2 EIT 技术的应用	203
7.2.1 简介	203
7.2.2 半导体电阻率测量系统硬件设计	204
7.2.3 探针的选择与注入电流的大小	209
7.2.4 数据采集与成像	209
8 外延片的电阻率测试	226
8.1 三探针电压击穿法测试外延层的电阻率	226

8.1.1	基本原理	226
8.1.2	测试线路与装置	229
8.1.3	测试步骤	231
8.1.4	测试注意事项	232
8.1.5	测量精度	233
8.2	电容-电压法测硅外延层纵向杂质分布	234
8.2.1	$C-V$ 法测试基本原理	235
8.2.2	用高频 Q 表的测试方法和测试线路	240
8.2.3	测试步骤	241
8.2.4	测试数据的处理与杂质浓度的确定	243
8.2.5	测准条件与注意事项	244
8.2.6	利用 $C-V$ 测试仪和汞探针测外延片杂质浓度 简介	244
8.3	界面态对 $C-V$ 法测试结果的影响	247
8.3.1	概述	247
8.3.2	基本理论	248
8.3.3	实验结果	251
8.3.4	讨论	254
8.3.5	小结	258
8.4	单探针扩展电阻法测量外延片纵向电阻率分布	259
8.4.1	单探针扩展电阻法基本原理	259
8.4.2	外延层生长过程杂质掺入模型	264
8.4.3	单探针扩展电阻技术测定外延层电阻率的 分布	268
9	接触电阻的测量	269
9.1	接触电阻的测量方法和接触电阻率提取理论模型	270
9.1.1	接触电阻的测量方法	270
9.1.2	接触电阻模型	273
9.2	材料间键合接触时的冶金学效应	276

9.2.1 原子的互扩散与金属间化合物的形成	276
9.2.2 Kirkendall 空洞的形成	277
9.2.3 固相沉淀物的形成	277
9.2.4 界面上绝缘层或缺陷的形成	277
9.3 减小接触电阻的措施	278
9.4 接触电阻随温度的变化	278
9.5 各种材料的键合接触述评	279
10 电阻率测试的测准条件	283
10.1 少子注入二维薄层样品时的连续性方程	283
10.1.1 二维连续性方程	283
10.1.2 少子注入时的牵引半径	283
10.2 电阻率测试环境的温度补偿问题	286
10.2.1 各种拟合方法的结果	286
10.2.2 讨论	290
10.3 探针游移度的测量及检验对电阻率测量的影响	294
10.4 硅片热历史对电阻率的测量的影响	297
10.4.1 硅中氧热施主的产生规律	298
10.4.2 硅中氧热施主引起的电阻率的变化	301
参考文献	304

1 绪 论

1.1 电阻率测试对半导体材料与器件的重要性

随着计算机的不断更新换代,存储容量不断地增长,作为其基础元件的集成电路已由超大规模向甚大规模阶段发展。一方面,图形日益细微化,电路尺寸不断缩小,线宽已从微米级缩小到亚微米级。目前在 $11\text{mm} \times 11\text{mm}$ 芯片上已能集成几千万个元件。这一方面要求圆片直径不断增大以提高生产率,到 2000 年已提高到 300mm 以上,到 2016 年可能到 450mm。另一方面,对晶体的完美性、力学特性及电特性提出更为严格的要求,特别是微区的电学特性及其均匀性引起人们的关注。下面简单总结一下与电阻率及掺杂直接有关的若干重要电学参数,以表明微区测试的重要性。

(1) 二极管的反向饱和电流。流过二极管的电流 I 与结电压 V 的关系

$$I = I_s (e^{qV/kT} - 1) \quad (1-1)$$

式中, $I_s = A \left(\frac{D_n n_p^0}{L_n} + \frac{D_p p_n^0}{L_p} \right)$ 称为反向饱和电流。这一电流越小,

二极管的反向截止特性越好。 n_p^0 和 p_n^0 分别是 p 侧和 n 侧电子和空穴的平均浓度,这一浓度越大,理论上反向饱和电流越大,因此反向饱和电流与微区掺杂不均匀有密切的联系。

(2) 反向耐压。对于单边突变结,最大电场强度 ε_m 为

$$\varepsilon_m = \left(\frac{2VqN}{\varepsilon} \right)^{1/2} \quad (1-2)$$

式中, V 为外加电压; N 为轻掺杂一边的杂质浓度。因此掺杂浓度越高,结电场越大,击穿电压便越低。对于可控硅来说,原始

n 型硅片的电阻率一般为几十欧姆厘米，电阻率均匀的情况下可以达到数千伏的耐压。一旦微区掺杂不均匀，则在个别点上可以提前击穿，使可控硅的耐压降低。

(3) 晶体管的饱和压降。晶体管集电极串联电阻 r_{cs} 与外延电阻率 ρ 成正比（无埋层时）

$$r_{cs} = \rho_c \left[\frac{x_{jc}}{l_c d_c} + \frac{d_c}{3l_c W_c} + \frac{2d_{ce}}{(l_c + l_e) W_c} + \frac{W_c}{3l_e d_e} \right] \quad (1-3)$$

式中， l_e 和 d_e 分别是发射区的长和宽； l_c 和 d_c 分别是集电极引线孔的长和宽； x_{jc} 是集电结深； $W_c = D - x_{jc}$ ， D 是外延层厚度。

晶体管的饱和压降为

$$V_{CES} = V_{CES0} + I_C r_{cs} \quad (1-4)$$

式中， I_C 是集电极工作电流。可见，外延层电阻率 ρ_c 直接影响饱和压降。外延层电阻率和微区不均匀性直接影响各晶体管的饱和压降。

(4) 晶体管的放大倍数 β 。共发射极电流放大倍数 β 可以表达为

$$\frac{1}{\beta} = \frac{R_{SE}}{R_{SB}} + \frac{W^2}{4L_{nB}^2} + \frac{SA_S W}{A_E D_{nB}} \quad (1-5)$$

式中， R_{SE} 和 R_{SB} 分别为发射区和基区薄层电阻； W 为基区宽度； L_{nB} 和 D_{nB} 分别是基区电子的扩散长度和扩散系数； A_S 和 A_E 分别为表面复合有效面积和发射结面积； S 为表面复合速度。一般将发射结和基区杂质浓度控制为 $10^{20} \sim 10^{21}/\text{cm}^3$ 及 $10^{17} \sim 10^{19}/\text{cm}^3$ ，使 β 值控制在 30 ~ 150 之间。放大倍数 β 与发射区和基区的方块电阻或掺杂有关，因此，扩散的均匀性直接影响晶体管电流增益的一致性。特别是差分放大电路中要求配对晶体管的放大倍数一致，使输出信号与差分输入信号成正比。对 $\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 异质结双极晶体管，SiGe 合金的基区带隙变窄，给定的基极和发射极间的偏压使注入基区的少子增多，提高了注入率，因而电流增益增大。这样可提高基区掺杂浓度和减薄基区而降低发射结掺杂浓



度和电容。因而在低温度下，基区电阻仍然不高，改进了低温特性和高频特性。

(5) MOS 电容器耗尽层弛豫时间 T_c 。当 MOS 电容器瞬间加反偏电压时，立即产生耗尽的空势阱。但因光照或热激发少子，少子趋向表面形成反型层，使势阱变浅。这一弛豫过程的时间常数 $T_c = N/g$ ，式中， g 为少子的热激发产生率。可见掺杂浓度 N 越高，弛豫过程时间常数越大。对于 CCD 电荷耦合器件来说，向空势阱注入的电荷应在少子热激发前被传输走，不受到热激发少子电荷的干扰。也就是说，电荷传输时间应小于少子热激发弛豫时间常数 T_c ，即应满足下式：

$$3n/f_{\min} < T_c$$

式中， n 为三相电荷耦合器件的单元数； $f_{\min}$ 为允许的三相时钟的最低频率。

$$\text{所以} \quad f_{\min} > \frac{3n}{T_c} = \frac{3ng}{N} \quad (1-6)$$

因此半导体的掺杂决定时钟的最低工作频率。微区掺杂的不均匀影响 MOS 电容器最低工作频率，因此可能影响电荷的传输。高清晰度电子摄像机要求采用 50 万像素 CCD，相当于 4M DRAM 的 VLSI 器件。可见掺杂的微区均匀性是十分重要的。

(6) GaAs 器件阈值分散性。阈值电压 V_T 可以表示为

$$V_T = \varphi_m - x - \frac{E_g}{2q} + \varphi_p + \frac{(4q\epsilon N_A \varphi_F)^{1/2}}{C_0} - \frac{Q_{ss}}{C_0} \quad (1-7)$$

式中， $\varphi_F = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A}{N_i}$ 。增大衬底的掺杂浓度 N_A 可以提高阈值电压。

在一块 GaAs 集成电路中阈值电压的标准偏差过大，使其功能失效，成品率降低。同一衬底上制作的 MESFET 的阈值不均匀性除与器件工艺因素有关，还与衬底的电阻率均匀性及结构缺陷有关。对电阻率起主要作用的是 EL2、C 和 Si 浓度。微区 EL2、C

和 Si 的不均匀性影响电阻率的不均匀性, 从而引起阈值电压的分散性, 所以测定 GaAs 衬底的微区电阻率均匀性是十分重要的。

(7) 化合物半导体计量比一致性。化合物半导体通常由两种或三种元素所组成。以红外探测器材料 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 来说, 化学计量比 x 不仅影响带隙, 还影响电子浓度。 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 在零温度下 0.1 eV 带隙相应的 $x = 0.222$, 继后 x 增加, 带隙增加, 表 1-1 示出在 GaAs 衬底上直接合金生长过程中 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 层的成分分布情况。

表 1-1 GaAs 衬底上 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 层的成分分布、电子浓度及迁移率

片号	x 值				77K Hall 测定			
位置	中心	中心 + 0.5cm	中心 + 1cm	边缘	n/cm^{-3}		$\mu/\text{cm}^2 \cdot (\text{V} \cdot \text{s})^{-1}$	
					中心	边缘	中心	边缘
片 1	0.288	0.291	0.287	0.271	4.0×10^{15}	4.6×10^{15}	43059	48693
片 2	0.260	0.259	0.251	0.239	1.3×10^{15}		62738	

直接合金生长时成分均匀性较差, 但是利用三乙基镓生长 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 时, 则中心与边缘的电子浓度相差在 3.4% 以内, 这说明 OMVPE 三乙基镓生长工艺能改善成分一致性。

综上所述, 微区掺杂和电阻率不均匀性不仅影响材料特性, 而且影响器件特性。

1.2 电阻率测试对工业领域的重要性

电阻率测试可以用于研究水泥的水化过程。水泥基材料的电阻率随水泥水化的不断进行而变化, 因此, 电阻率法可以用来研究水泥的水化过程。采用电阻率法研究水泥基材料的水化特性和物理性能已有一定的历史, 最早的研究报道见于 1932 年, 此后逐渐发展起来。目前, 国内外在采用电阻率法研究水泥基材料的水化过程、凝结时间、强度以及外加剂的作用和影响等方面取得了大量研究成果。水泥在水化过程中会逐渐表现出稠化、凝结和



硬化等物理特性, 这些也是水化反应过程中的不同表现形式。水泥水化时发生的化学反应会引起浆体中离子浓度的变化, 也会影响浆体的孔隙率, 因此, 可以通过分析浆体的电阻率变化规律判断水泥的水化进程。

电阻率测量可应用于混凝土性能的表征。混凝土作为结构材料, 习惯上被认为是电的不良导体, 混凝土电阻率指标通常没有任何的意义, 因此人们也不关心混凝土电阻率的高低。但近年来混凝土电阻率已开始受到关注。近年来随着高性能混凝土的研究与应用, 人们开始关心高性能混凝土的电阻率。高性能混凝土应该具有高的电阻率, 因为混凝土电阻率太低可能影响钢筋保护效果。对于成熟期为6个月的高性能混凝土湿试件, 电阻率在 $470 \sim 530 \Omega \cdot \text{m}$ 范围之间, 比普通混凝土高10倍。当电阻率大于 $500 \Omega \cdot \text{m}$ 时, 可大大抑制钢筋锈蚀。可以利用高频低压交流电, 通过测量电阻率来反映混凝土的渗透性, 克服了直流电量法的极化反应和溶液温度升高的缺点, 缩短了试验时间。水泥混凝土随水化过程进行, 由于水分的消耗, 电阻率也发生比较大的变化, 因此可以通过测量混凝土电阻率的发展变化, 从而间接反映水泥混凝土凝结硬化情况。有很多研究者采用非接触电阻率测量方法来表征水泥早期的水化行为、混凝土早期力学性能和内部微结构变化。隋同波等研究认为, 电阻率可以反映水化进程, 电阻率的变化可以反映水化程度的变化。张丽君等研究认为, 电阻率曲线不仅可以表现掺矿物掺和料的浆体的水化过程, 也可以表现掺和料的活性大小。混凝土的结构裂缝不仅会降低抗渗性能, 而且会引起钢筋锈蚀, 加速混凝土的碳化, 是影响结构耐久性的一个很重要的因素。混凝土发生开裂和因开裂湿度下降, 都会使得电阻率显著增大。艾亿谋等研究结果证实, 通过电阻率测量不仅可以准确找出裂缝的位置, 而且可以确定裂缝深度和裂缝密实度。

1.3 电阻率测试对地质物探领域的重要性

对于不同介质电阻率勘探来说, 电阻率是最行之有效的地球