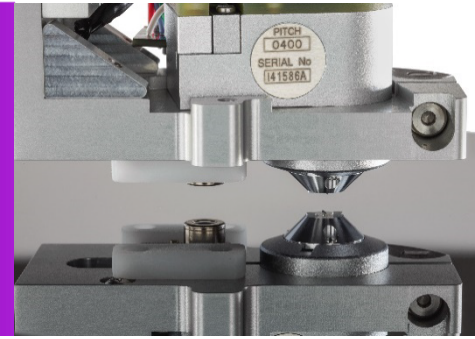


金属薄膜方块电阻和厚度测绘

Filmetrics® R50 系列



介绍

大多数在半导体芯片等器件中导电的金属迹线最初是金属薄膜，随后经过图形化和蚀刻，最终在器件元件之间形成导电连接。

The KLA Instruments™ Filmetrics® 事业部为半导体、PCB、平板显示器、太阳能应用和研发量测提供符合行业标准的薄膜电阻测量系统。我们的客户测量各种金属层，包括导电薄膜、粘附层和其他导电层。这些应用各具挑战，而 Filmetrics 开发了相应的软件、硬件和应用方式来提供有效的解决方案。

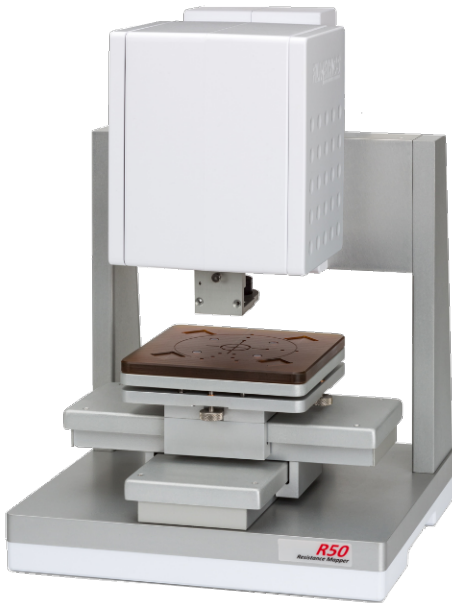


图 1. R50-EC 方块电阻测绘系统。

背景

图 1 所示的 R50 代表了超过 45 年电阻率测量历史的巅峰之作。第一款 KLA 电阻率系统是 ADE Corporation 推出的 ADE 6035 涡流 (EC) 系统。1984 年推出了第一款四探针 (4PP) 系统 Prometrix® OmniMap®, 这是第一款支持 200 毫米晶圆的方块电阻测量系统。尽管这两种测量技术之间功能有所重叠，但是根据具体的应用，每种技术都有其显著的优势。本应

用说明概述了用于金属薄膜测量的四探针和涡流技术，并介绍如何将电阻分布图转换为薄膜厚度分布图。

R50 电阻分布图的示例展示在图 2 中。图2的彩色分布图提供了铬薄层沉积工艺的定量信息，晶圆外边缘电阻较高，中心处则最低。这种“靶心”图案表明铬层从晶圆中心到边缘逐渐变薄。可靠的输出数据也高度依赖于测量重复性，这一点在下文也会谈及。

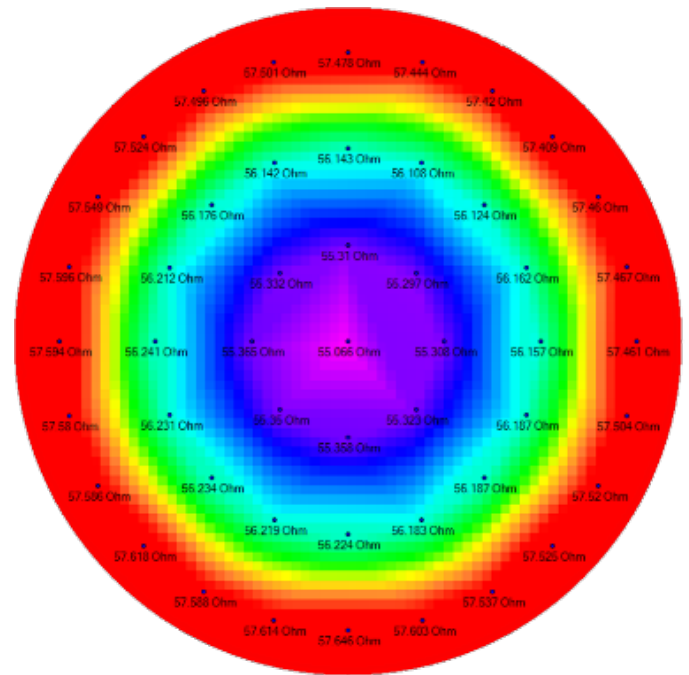


图 2. 铬薄层的 R50 分布图显示出一个典型的靶心分布，在图中可以看到随着铬层从晶圆中心到边缘逐渐变薄，电阻显著增加。

四探针测量技术

四探针技术已经存在了 100 多年，并且由于其使用简单以及固有的准确性，一直备受青睐。如图 3 所示，四探针与导电表面接触，电流在两个引脚之间流过，同时测量另外两个引脚之间的电压。通常，引脚的排列方式是线性排列或方形排列，此处主要讨论 R50 探针使用的线性排列。对于大多数应用，使用标准测量配置（图 3，左），但是备用测量配置（图 3，右）可作为 R50 双配置测量方法的一部分，用于薄膜边缘电流集聚或需要校正引脚间距变化的情况。此处展示的测量结果仅使用了标准测量配置。

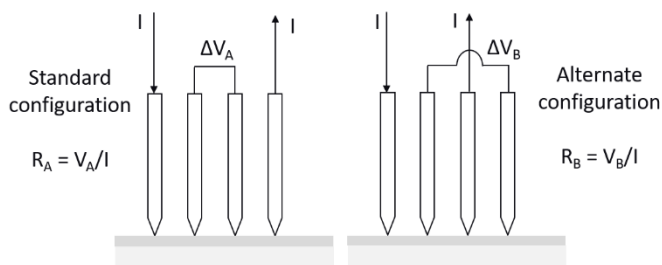


图 3. 标准（左）和备用（右）测量配置的四探针原理图。备用测量配置用作 R50 双配置测量方法的一部分，该方法通常用于薄膜边缘出现电流集聚或引脚间距变化需要校正的情况。

涡流测量技术

如图 4 所示，涡流技术通过施加交变磁场，测量导电层中感应的涡流。线圈中的时变驱动电流会在该线圈周围产生时变初级磁场。当探测线圈接近导电表面时，导电材料中会感应出时变电流（涡流）。这些涡流会产生自己的时变次级磁场并和线圈耦合，从而产生与样品的方块电阻成正比的信号变化。导电层越导电，涡流的感应越强，驱动线圈的阻抗实部和虚部的变化就越大。

R50 方块电阻数据分析和可视化

无论是四探针还是涡流，测量完成并计算出方块电阻 (R_s) 后，R50 都会以类似方式处理数据。根据用户偏好，可以直接导出方块电阻值，也可以使用 RsMapper 软件中的转换功能，将数据转换为薄膜厚度：

$$R_s = \rho/t$$

其中 ρ 是电阻率， t 是薄膜厚度。

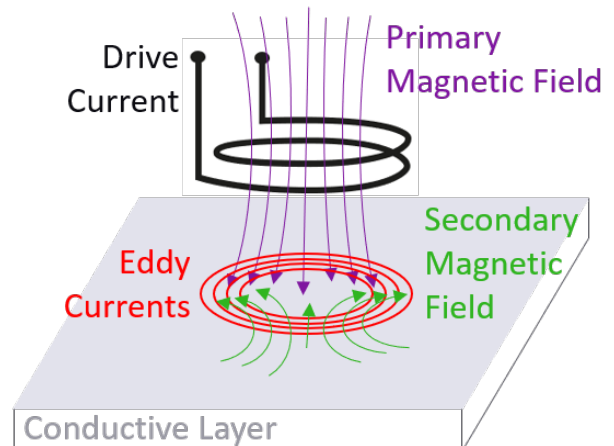


图 4. 涡流 (EC) 技术是指线圈中的时变电流会在导电层中产生时变涡流。这些时变涡流反过来会产生一个磁场，从而改变驱动线圈的阻抗，这与该层的方块电阻成正比。

图 5 显示了 $2\mu\text{m}$ 标称厚度铝膜的方块电阻分布图和薄膜厚度分布图。根据方块电阻数据（图 5，左），利用标称电阻率（图 5，中），将数据转换为薄膜厚度分布图（图 5，右）。在某些应用中，将数据显示为薄膜厚度分布图可能更有帮助，更有助于观测。RsMapper 软件还提供差异分布图，即利用两个特定晶圆的测绘数据绘制成单张分布图来显示两者之间的差异。举例来说，此功能对于评估蚀刻或抛光工艺前后的方块电阻尤其有用。

选择适当的技术

R50-4PP 能测量的最大方块电阻为 $200 \text{ M}\Omega/\text{sq.}$ ，因而非常适合比较薄的金属薄膜。对于非常厚的金属薄膜，电压降（图 3 左侧中的引脚 2 和引脚 3 之间）变得非常小，这会限制四探针技术的测量。它只能测量厚度小于几个微米的金属膜，具体还要取决于金属的电阻率。

由于非常薄的金属薄膜产生的涡流极小，使用涡流方法测量方块电阻时，金属厚度最薄的极限大约在 100 nm （或约 $10 \Omega/\text{sq.}$ ，依金属类型而定）。这种限制也部分源于 R50-EC 的测量尺寸非常小。

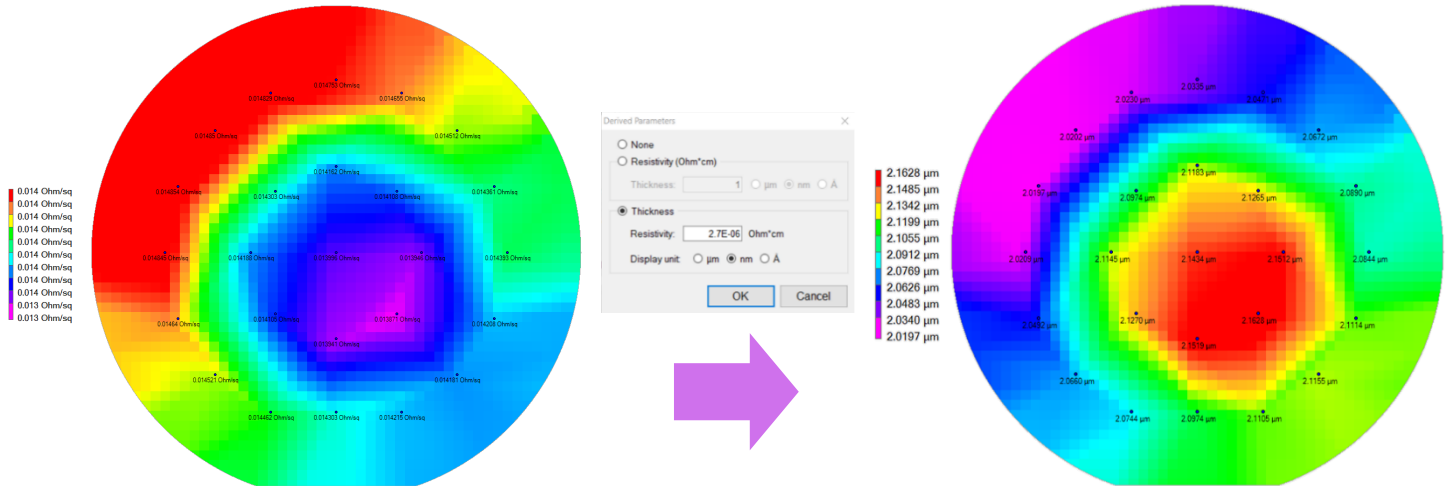


图 5. $2\mu\text{m}$ 厚铝层的方块电阻分布图（左）。RsMapper 软件可以推导出薄膜厚度（中），来生成推导的薄膜厚度分布图（右）。厚度分布图显示出一个偏离中心的墩，这可能是由于沉积系统的偏移造成的。其他可能的原因包括晶圆未对齐金属靶或晶圆略微倾斜，这也会产生类似的图案。

对于非常厚的金属薄膜，涡流信号会增加，因此对可测量的金属薄膜的最厚厚度实际上没有限制。对于低于 $1\text{ m}\Omega/\text{sq}$ 的薄膜，请联系您当地的 KLA 分销商。

在四探针和涡流技术都可使用的情况下，一个决定因素就是避免因引脚接触样品而造成损坏或污染。对于敏感表面，建议使用涡流技术。如果要测量的薄膜位于可能会产生额外涡流信号的导电衬底上，则建议使用四探针技术，因为绝缘层能阻挡四探针的直流电流。

其他金属薄膜应用

某些应用需要测量掩埋或背面金属层。对于掩埋层，如果有非导电层阻挡四探针与导电层接触，则不适合采用四探针技术。如果埋入层的电阻小于 $10\ \Omega/\text{sq}$ ，则可使用涡流测量埋入层。对于背面层应用，如果样品可以正面朝下放置在台板上，则可以使用四探针来测量该层。如果这种操作不可行，涡流技术通常可以穿过正面向上的不导电样品来表征背面金属层。

结论

Filmetrics R50 系列可以测量大量金属层。对于较薄的薄膜，它们的电阻较大而四探针的测量范围较大，因而推荐使用 R50-4PP。对于非常厚的薄膜，或者需要非接触式测量的柔软或敏感薄膜，推荐使用 R50-EC。

KLA 支持

保持系统生产力是 KLA 产量优化解决方案不可或缺的一部分。在该领域内的工作包括系统维护、全球供应链管理、降低成本和减缓淘汰、系统迁移、性能和生产力增强以及认证工具转售。

© 2022 KLA Corporation。所有品牌或产品名称可能是其各自公司的商标。KLA 保留更改硬件和/或软件规格的权利，恕不另行通知。

KLA Corporation
统一技术，驱动进步
Milpitas, CA 95035
修订 1 2022-12-22