

Infrared Spectroscopy

作者:

Ian Robertson

PerkinElmer
Seer Green
United Kingdom

FT-IR 自动分析系统测量 硅晶圆中的元素杂质

引言

随着半导体需求的增加，特别是消费电子产品、汽车以及日益增长的太阳能发电行业中硅器件的使用，硅晶圆的产量预计在未来几年将出现高速增长。

硅晶圆的生产目前采用了多种工艺，最常见的两种是 Float Zone (FZ) 和 Czochralski (CZ) 工艺。FZ 工艺可以生产高纯度硅晶圆，而 CZ 工艺生产的晶圆相对来说含有更多的元素杂质（特别是碳和氧）。然而，与 FZ 工艺相比，CZ 工艺具有一些重要优势，如更好的热应力特性、制造速度更快、成本更低等。此外，氧杂质的存在有一个好处，可起到吸气剂的作用，可以去除微量金属杂质。因此，在硅晶圆制造行业中，CZ 工艺的使用范围最广。

我们需要测定硅晶圆中的碳和氧杂质水平，避免杂质水平过高，导致电活性缺陷和产品故障/报废。根据全球标准方法，红外光谱提供了快速和简易的测量方法，用于测定这些杂质水平^{1,2,3,4}。

材料和方法

测量系统由配备 MappIR 晶圆支架以及安装有自动化软件的 PerkinElmer Spectrum 3™ FT-IR 光谱仪组成，如图 1 所示。



图1. Spectrum 3 FT-IR 和 MappIR 系统

该系统能够在透射或反射模式下分析从 2 英寸到 8 英寸 (MappIR) 或 12 英寸 (Mapp300) 尺寸范围的晶圆。自动化软件可实现在无人值守情况下自动绘制晶圆图谱，根据预先设置或用户定义的图谱绘制安排，采集整个晶圆的光谱。数据采集完成后，根据规定的分析方法进行计算。

在透射模式下采集直径为 6 英寸的硅晶圆光谱，光谱分辨率为 4 cm^{-1} ，使用 32 次扫描进行数据采集。Spectrum 3 和 MappIR 使用干燥氮气连续吹扫，以从光谱中去除大气光谱干扰。

500 微米厚 Float Zone 工艺硅晶圆的光谱如图 2 所示。

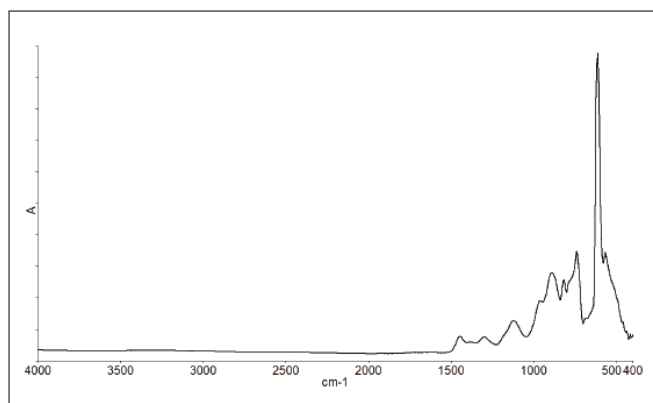


图2. Float Zone 工艺硅晶圆的红外光谱

红外光谱显示在 1500 cm^{-1} 以下存在多个硅晶格振动的吸收带。图 3 显示了相同的 FZ 晶圆和 CZ 晶圆在 1500 cm^{-1} 以下光谱范围放大的叠加光谱图。

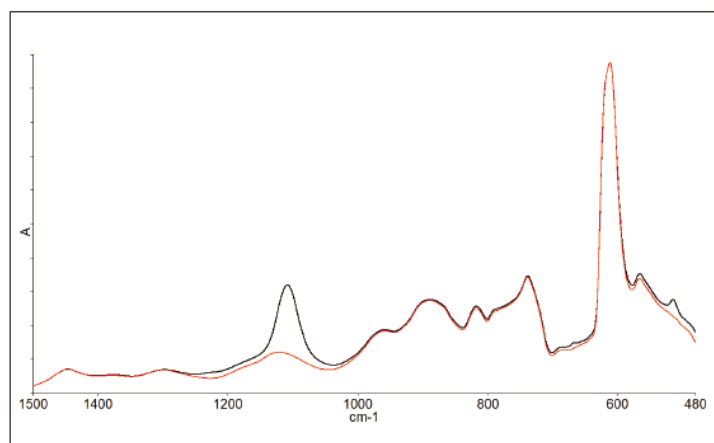


图3. FZ 工艺 晶圆光谱 (红色) 和 CZ 工艺 晶圆光谱 (黑色) 显示光谱差异
从光谱可以看出，两个晶圆的光谱之间存在差异，特别是 CZ 光谱中 1100 cm^{-1} 附近的吸收峰。为了更清楚地查看光谱差异并对光谱进行计算，标准方法规定从待分析的 CZ 工艺样品中扣减高纯度 FZ 参考晶圆的光谱。这将生成如图 4 所示的光谱图。

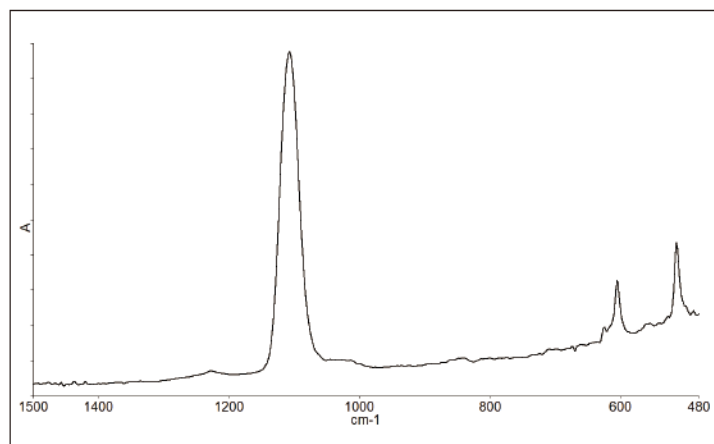


图4. “CZ 工艺-FZ 工艺” 晶圆光谱的扣减光谱显示由于 CZ 工艺材料中的杂质而产生的谱带

1107 和 513 cm^{-1} 处的谱带是由于存在间隙氧，而 605 cm^{-1} 处的谱带则是由于存在替代碳。这些谱带允许对光谱进行定量分析。具有不同氧浓度范围的晶圆光谱如图 5 所示。

此计算方法允许使用一系列校准标准品做线性回归或使用标准校准因子。以前可从 NIST 机构获取硅晶圆中的氧标准物质用于校准工作，由于 NIST 已不销售此系列标样，此方法已不再可行，因此绝大多数分析都直接使用标准校准因子。

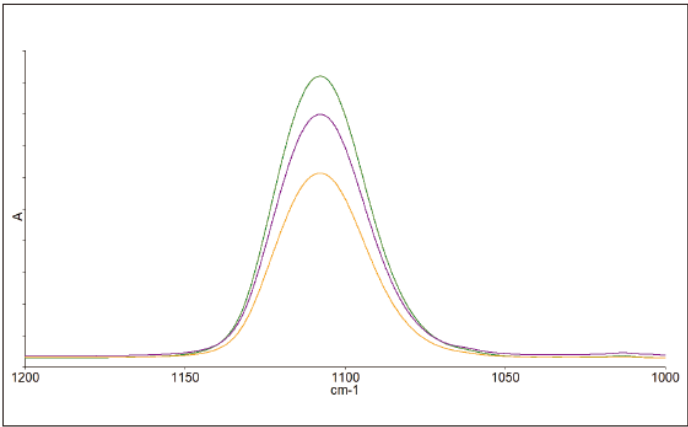


图 5. 扣除“无氧”FZ 工艺晶圆参考光谱后的高（绿色）、中（紫色）和低（黄色）氧浓度晶圆光谱

如图 6 所示，测定碳和氧含量的工作流程如下：

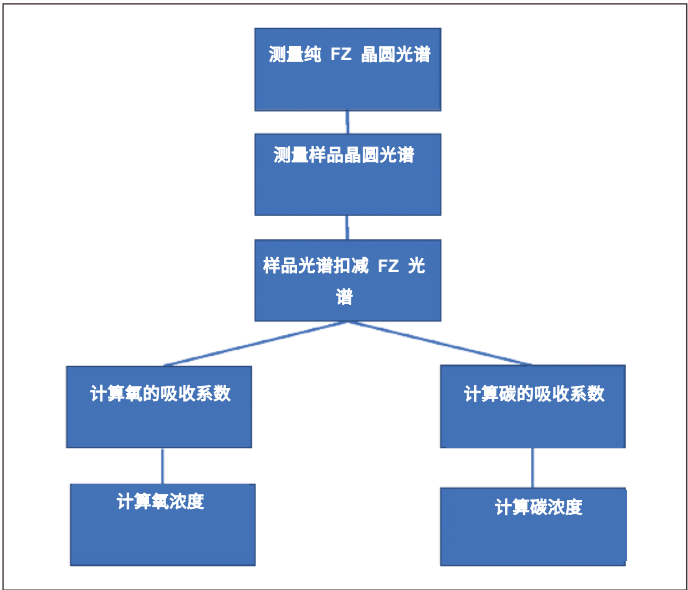


图 6. 碳和氧含量测定的工作流程

采用以下计算公式，分别在 1107 cm⁻¹ 和 607 cm⁻¹ 的峰值处测定氧和碳的吸收系数：

吸收系数 $a = (1/d) \ln (T_0 / T)$

其中：

T₀为计算的峰值位置的基线透射率

T 为峰值位置处的测量透射率

d 为样品厚度 (cm)

氧和碳的浓度（以原子/cm³ 为单位）和百万分之一原子 (ppma) 的计算公式如下：

氧原子/cm³ = 3.14*10¹⁷ a

氧 ppma = 6.28 a

碳原子/cm³ = 8.2x10¹⁶ a

碳 ppma = 1.64 a

对于图 4 所示的样品光谱,我们计算了以下数值,如表 1 所示：

表 1. 图 4 的计算值。

	氧	碳
吸收系数 (a)	2.61	0.384
原子/cm ³	8.1954 x 10 ¹⁷	3.1488 x 10 ¹⁶
ppma	16.3908	0.62976

供试品为 6 英寸厚 500 微米的双面抛光 (DSP) CZ 工艺硅晶圆，在透射模式下测量。

AutoPRO7 自动软件用于绘制同一晶片上的碳和氧浓度分布图，其示意图如图 7 所示。

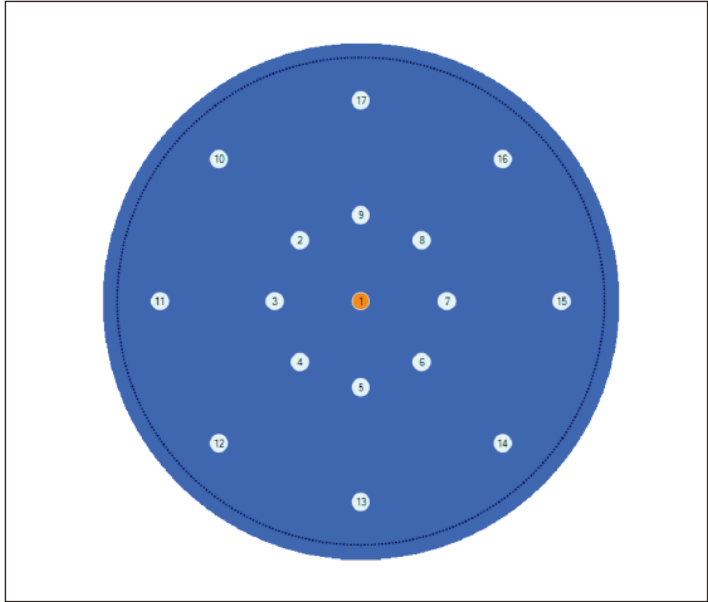


图 7. Auto PRO7 软件中测量位置的示意图

在晶圆中心以及在离中心 20 和 50 mm 半径处以 45 度增量自动采集光谱，在晶圆上总共进行 17 次测量。光谱如图 8 所示。

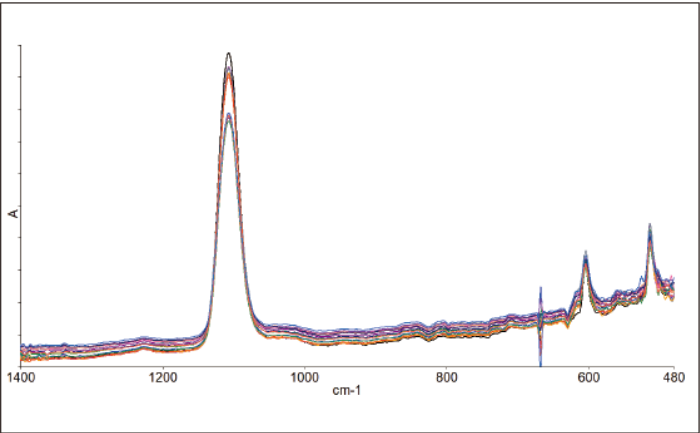


图 8. 在晶圆上采集的光谱

可以清楚地看到，在不同测量中，氧的峰具有不同强度。计算每个点的氧和碳浓度，如表 2 所示。

表 2. 被测硅晶圆中的氧和碳浓度

示例名称	氧浓度 (原子/cm ³)	碳浓度 (原子/cm ³)
1115_B_001	8.21E+17	3.12E+16
1115_B_002	7.56E+17	2.96E+16
1115_B_003	7.59E+17	3.12E+16
1115_B_004	7.62E+17	3.08E+16
1115_B_005	7.64E+17	3.15E+16
1115_B_006	7.67E+17	3.27E+16
1115_B_007	7.60E+17	3.03E+16
1115_B_008	7.49E+17	3.44E+16
1115_B_009	7.60E+17	2.98E+16
1115_B_010	6.24E+17	3.03E+16
1115_B_011	6.19E+17	3.10E+16
1115_B_012	6.26E+17	2.79E+16
1115_B_013	6.18E+17	2.77E+16
1115_B_014	6.22E+17	2.96E+16
1115_B_015	6.26E+17	2.86E+16
1115_B_016	6.33E+17	2.93E+16
1115_B_017	6.18E+17	2.94E+16
平均值	6.99E+17	3.03E+16
标准偏差	7.53518E+16	1.67278E+15
RSD%	10.78%	5.52%

结果显示，氧在整个晶圆上存在显著变化，而碳的测量结果更加一致。理想的晶圆应当在整个晶圆上具有一致的测量结果，以避免在晶圆被切割成较小的单片时出现不一致。

摘要

配备 MappIR 晶圆分析系统的珀金埃尔默 Spectrum 3 证明能够测量硅晶圆中存在的杂质水平，这是一个对晶圆性能非常重要的参数。可以通过使用软件中的“宏程序”实现自动化数据采集和计算，计算方法可以根据监管实体要求的方法进行定制。还可以执行其他半导体应用，如涂层、电介质以及外延膜的测量。

Spectrum 3 还可用于半导体行业中的原材料鉴定，并可整合至 Spotlight FT-IR 显微镜用于缺陷分析。

参考文献

1. SEMI MF1188-1105 Test Method for Interstitial Oxygen Content of Silicon by Infrared Absorption with Short Baseline.
2. SEMI MF1391-93 (Reapproved 2000) Test Method for Substitutional Atomic carbon Content of Silicon by Infrared Absorption.
3. National Standards of the Peoples Republic of China GB 155789, GB/T 1558.
4. JEITA EM-3503 Standard Test Method for Substitutional Atomic Carbon Content of Silicon by Infrared Absorption.

珀金埃尔默企业管理（上海）有限公司
地址：上海张江高科技园区张衡路 1670 号
邮编：201203
电话：021-60645888
传真：021-60645999
www.perkinelmer.com.cn



欲获悉全球办事处的完整清单，请登录 www.perkinelmer.com/ContactUs

版权所有©2021 珀金埃尔默公司。保留所有权力。PerkinElmer®是珀金埃尔默公司的注册商标。所有其他商标属于相应所有者的财产。