应用说明 **004** | 中文译本

GDMS 深度剖析中的元素响应剖面

镓、氮、铝、硅的连续监测

2	385 / 834	Ga · N · Al · Si
样品剖面数量	每组剖面的采集次数	归一化元素响应

GD90TraceRF 能够跟踪随溅射进行而发生的元素响应变化。两组应用示例展示了镓、氮、铝、硅的连续监测。每组剖面均呈现初段以镓响应为主、中间阶段出现铝特征，以及序列后段硅贡献增加的变化过程。按四种元素响应总和进行归一化，为这些相对响应变化提供了统一的表示方式。

引言

在溅射过程中连续采集元素响应，能够揭示单一体相组成结果无法体现的响应变化。各信号的变化过程可识别具有不同元素特征的区域，并显示依次经过这些区域的顺序。这些信息有助于选择用于进一步分析评价的测量区间。

本应用说明展示了采用 GD90TraceRF 获得的两组剖面，分别包含 385 次和 834 次采集。两组示例均跟踪同样的四种元素。在采集序号轴上比较剖面形状、特征值及过渡位置，可以详细描述各序列全程的相对元素响应。

实验方法与数据表示

表 **1.** 剖面采集信息与报告坐标。

参数	定义
仪器	GD90TraceRF
监测元素	Ga、N、Al、Si
剖面长度	样品 1：385 次采集；样品 2：834 次采集
横坐标	溅射序列中的采集序号
纵坐标	各元素响应占四种元素响应总和的百分比

归一化方法

对于每次采集 k，将元素 i 的响应除以 Ga、N、Al、Si 四种元素的响应总和，再乘以 100：

$$P_i(k) = 100 \times R_i(k) / [R_{Ga}(k) + R_N(k) + R_{Al}(k) + R_{Si}(k)]$$

其中，R 表示元素响应，P 表示其归一化百分比。在显示数值修约之前，四种元素的贡献之和为 100%。该归一化仅针对这四种受监测元素的响应，表示其相对贡献，而非经校准的质量分数或原子分数。

各条曲线使用相同的分母。因此，图示百分比的变化描述的是相对贡献，应与绝对信号强度的变化分别解释。

剖面示例

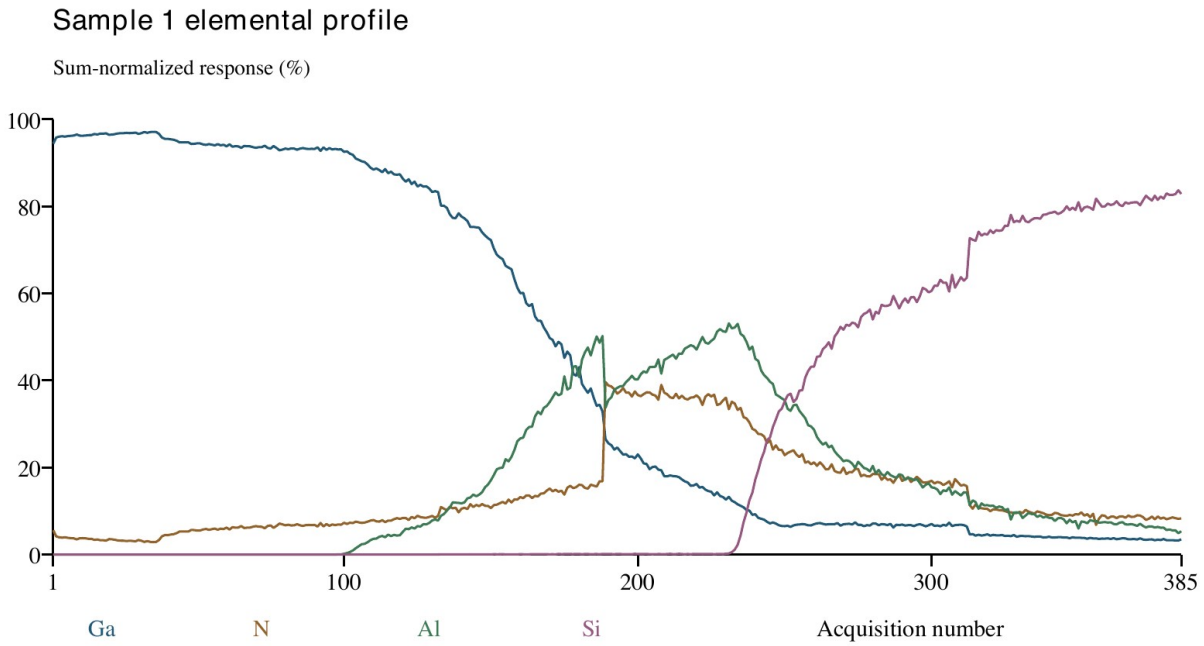


图 **1.** 样品 **1** 在 **385** 次采集中的元素响应剖面。初段以 **Ga** 响应为主，随后出现中间阶段的 **Al** 特征，后段以 **Si** 响应为主。

图题：**Sample 1 elemental profile**＝样品 **1** 元素剖面。

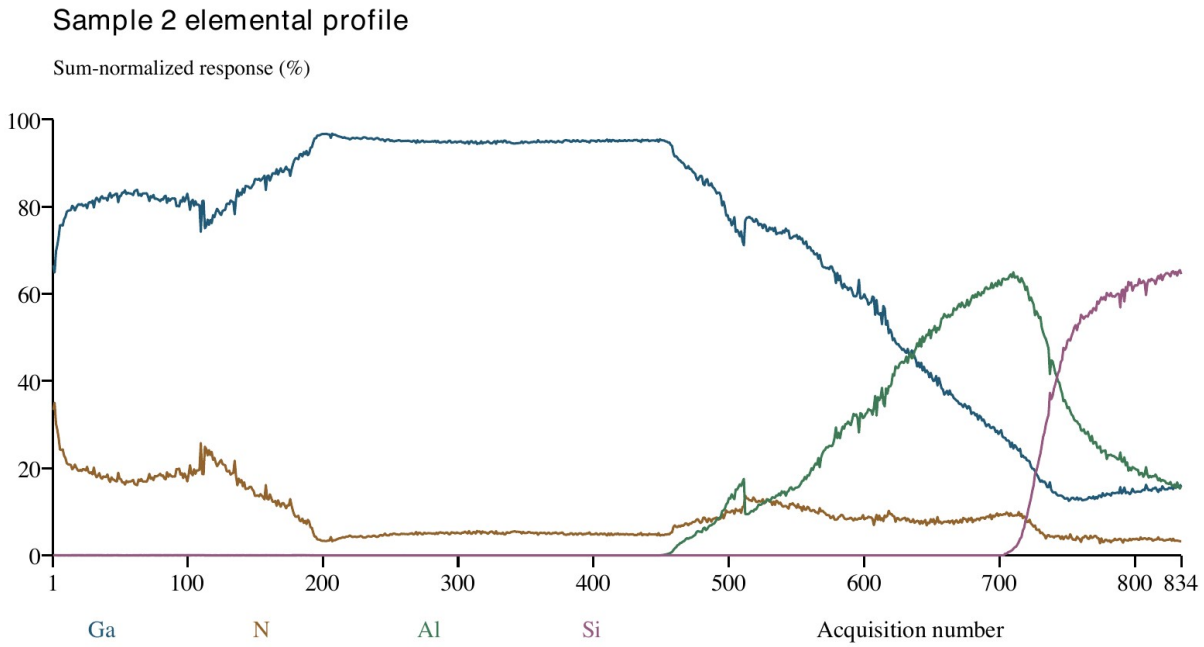


图 **2.** 样品 **2** 在 **834** 次采集中的元素响应剖面。在采集序号轴上，较长的 **Ga** 主导区之后出现主要 **Al** 特征，随后 **Si** 响应在后段增加。

图题：**Sample 2 elemental profile**＝样品 **2** 元素剖面。

两图横轴均为采集序号，样品之间的横轴范围不同。物理深度比较需要溅射时间记录及针对相应材料的深度校准。

图中术语：Sum-normalized response (%)＝按响应总和归一化的响应（%）；Acquisition number＝采集序号。Ga、N、Al、Si 分别表示镓、氮、铝、硅。

结果与讨论

表 2. 基于完整、未经平滑处理的采集序列得到的特征归一化响应。响应值为各元素占四种元素响应总和的百分比。

样品	元素	首点（%）	最大值（%）	最大值对应采集序号	末点（%）
1	Ga	94.4000	97.1370	35	3.4877
1	N	5.5924	39.6522	189	8.3001
1	Al	0.0014	53.1126	231	5.3497
1	Si	0.0062	83.6983	384	82.8626
2	Ga	66.5670	96.7801	207	16.2375
2	N	33.3688	35.0313	2	3.2238
2	Al	0.0172	64.9774	710	16.0051
2	Si	0.0471	65.4533	833	64.5336

各元素最大值出现在不同的采集序号，应分别评价。同一次采集的四种元素响应占比之和为 100%，显示数值修约可能带来尾数差异。

样品 1

镓的起始响应占比为 94.40%，在第 35 次采集达到 97.14% 的最大归一化贡献。氮在第 189 次采集达到最大值，随后铝在第 231 次采集达到 53.11% 的最大值。硅在后段占主导地位，最后一次采集达到 82.86%，而镓降至 3.49%。该剖面区分了初段以 Ga 为主的响应、中间过渡区及后段以 Si 为主的响应。

样品 2

第二组剖面起始时，镓占 66.57%，氮占 33.37%。镓在第 207 次采集达到 96.78%，并在序列的相当一部分区间内保持主导。铝在第 710 次采集达到 64.98%，随后出现硅在后段的主要上升过程。最后一次采集中，硅的贡献为 64.53%，镓和铝在归一化标尺上各占约 16%。

剖面比较与深度校准

两组样品的响应特征总体顺序相同，但过渡位置和最终贡献不同。样品 1 末段的硅相对贡献更高，而样品 2 保留了更高的镓和铝贡献。这些差异为比较元素响应的变化过程及选择进一步评价的区域提供了依据。

报告物理深度时，需要将采集序号与溅射时间记录及针对相应材料的深度校准关联起来。膜厚和界面宽度在校准后的标尺上评价。对于涉及非导电涂层的应用，该剖析方法采用射频（RF）激发。

结论

GD90TraceRF 获得的剖面展示了两组溅射序列中 Ga、N、Al、Si 响应的连续变化。按响应总和归一化的表示方式，可识别特征响应区域、中间阶段特征及后续过渡。结合剖面与采集汇总信息，可以详细比较元素响应模式，并为后续经校准的组成与深度评价提供依据。