应用说明 **003** | 中文译本

硅片多元素分析

采用直流辉光放电质谱获得硼、磷及痕量杂质分析结果

75	12	0.002-4.2
报告中的元素种类	具有数值结果的杂质种类	杂质数值结果范围，mg/kg

采用 GD90TraceRF 对硅片进行直接 DC-GDMS 分析，获得涵盖硼、磷、碳及多种痕量杂质的 75 元素报告。采用 Default DC RSF 方法，得到硼为 2.49 mg/kg、磷为 4.2 mg/kg、碳为 3.0 mg/kg，同时获得了更低水平的铝、砷及金属杂质结果。具有数值报告结果的杂质范围为 0.002–4.2 mg/kg。

引言

多元素分析可提供用于硅材料杂质筛查与比较的组成信息。将硼、磷与碳、金属及其他元素一并报告，可在一份分析结果中同时呈现主要杂质及较低水平的组分。各元素对应的报告阈值，也界定了对低于数值报告水平的组分能够提供的信息。

本应用说明介绍了采用 GD90TraceRF 对硅片进行直接分析的方法。主要数值结果与完整元素结果表一并呈现，详细展示采用 Default DC 相对灵敏度因子（RSF）方法获得的杂质分布。

仪器与分析方法

采用 GD90TraceRF，以直流辉光放电质谱直接分析硅片。元素结果采用 Default DC RSF 方法处理，质量分数以质量百万分比（ppmw）表示。该单位与毫克每千克（mg/kg）在数值上等同。

表 **1.** 硅片分析方法。

参数	方法信息
样品	硅片
激发方式	直流（DC）
RSF 方法	Default DC
报告量	质量分数，单位 ppmw，数值等同于 mg/kg

单位关系：1 ppmw = 1 mg/kg = 1,000 µg/kg。例如，0.002 mg/kg 的数值结果对应 2 µg/kg。

元素覆盖范围与报告方式

结果表包含 75 种不同元素：硅基体、12 种具有数值结果的杂质，以及 62 种低于各自报告阈值的元素。本次分析未报告氮和氧。完整结果见表 3。

数值结果与带“小于”符号的结果代表不同的报告情形。每一项带“小于”符号的结果，均应结合其所列阈值解释。

结果与讨论

表 2. 硅片杂质的数值结果，所有数值单位均为 mg/kg。

元素	结果	元素	结果
B	2.49	P	4.2
C	3.0	Al	0.073
As	0.030	Fe	0.006
Na	0.002	Mg	0.002
K	0.003	Cu	0.003
Cr	0.002	Ni	0.002

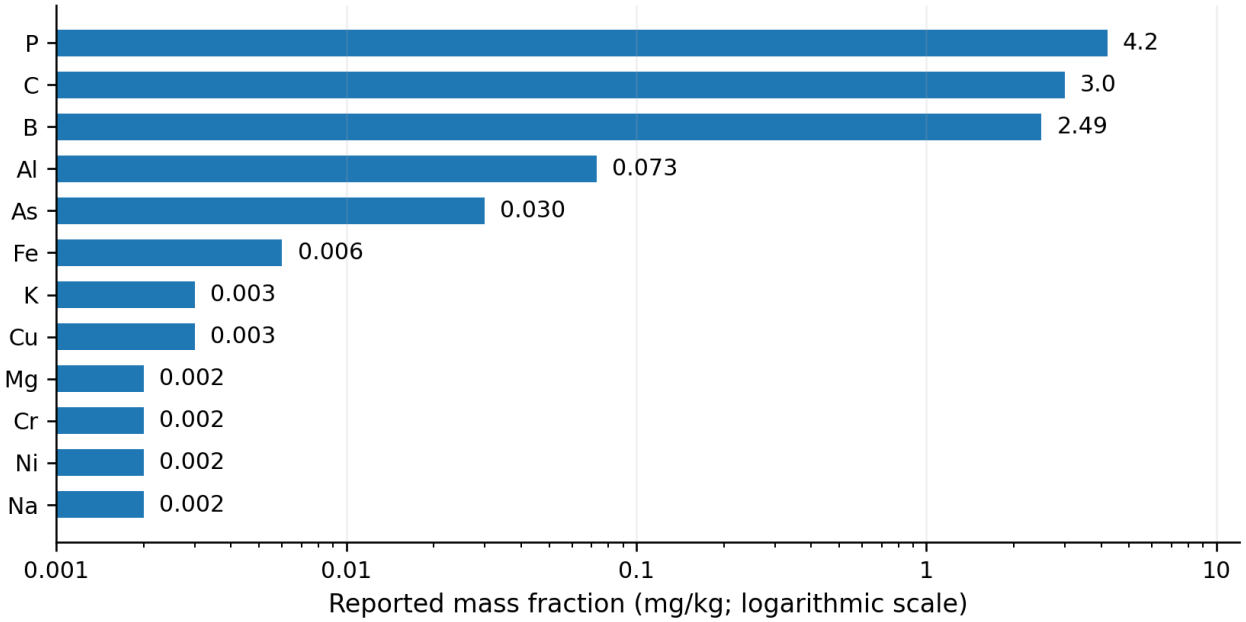


图 1. 按质量分数排序的杂质数值结果。对数标尺展示了 0.002–4.2 mg/kg 的范围，图中未列入硅及带“小于”符号的结果。
图中横轴：Reported mass fraction (mg/kg; logarithmic scale)＝报告质量分数（mg/kg，对数标尺）。

主要数值结果

磷、碳和硼的杂质数值结果最高，分别为 4.2、3.0 和 2.49 mg/kg。铝的报告值为 0.073 mg/kg，砷为 0.030 mg/kg，分别对应 73 和 30 µg/kg。这五种元素构成杂质数值分布中水平较高的部分。

铁、铜、钾、钠、镁、铬和镍的报告值介于 0.002 至 0.006 mg/kg 之间，相当于 2–6 µg/kg。将这些元素纳入报告，使杂质组成信息不局限于较高水平的 B、C、P 结果，并为在一致分析方法下比较硅材料提供补充信息。

报告阈值的解释

带“小于”符号的结果表示低于所列报告阈值。例如，铜的报告值为 0.003 mg/kg，而钴为 <0.001 mg/kg。后者是带有阈值限定的结果，并不表示测量值为零；在组成比较中应据此处理。

阈值因元素而异：完整结果表中，Ta 为 <5 mg/kg，F 为 <1 mg/kg，同时有许多元素的结果为 <0.001 mg/kg。每个阈值均适用于该分析方法下对应的元素。

完整多元素分析结果

表 3. 按原子序数排列的完整硅片分析结果。质量分数单位为 mg/kg；“小于”符号表示结果低于所列报告阈值。

元素	mg/kg	元素	mg/kg	元素	mg/kg
Li	<0.005	Ge	<0.05	Nd	<0.001
Be	<0.005	As	0.030	Sm	<0.001
B	2.49	Se	<0.01	Eu	<0.001
C	3.0	Br	<0.01	Gd	<0.001
F	<1	Rb	<0.001	Tb	<0.001
Na	0.002	Sr	<0.001	Dy	<0.001
Mg	0.002	Y	<0.001	Ho	<0.001
Al	0.073	Zr	<0.001	Er	<0.001
Si	999990.19	Nb	<0.001	Tm	<0.001
P	4.2	Mo	<0.005	Yb	<0.001
S	<0.001	Ru	<0.005	Lu	<0.001
Cl	<0.01	Rh	<0.005	Hf	<0.001
K	0.003	Pd	<0.05	Ta	<5
Ca	<0.001	Ag	<0.01	W	<0.005
Sc	<0.001	Cd	<0.05	Re	<0.001
Ti	<0.001	In	<0.01	Os	<0.005
V	<0.001	Sn	<0.01	Ir	<0.001
Cr	0.002	Sb	<0.01	Pt	<0.005
Mn	<0.005	Te	<0.01	Au	<0.05
Fe	0.006	I	<0.001	Hg	<0.05
Co	<0.001	Cs	<0.001	Tl	<0.005
Ni	0.002	Ba	<0.001	Pb	<0.005
Cu	0.003	La	<0.005	Bi	<0.005
Zn	<0.01	Ce	<0.005	Th	<0.001
Ga	<0.01	Pr	<0.001	U	<0.001

“<”表示结果低于所列报告阈值。未报告氮和氧。硅基体数值按原报告保留；本结果表不赋予经认证的纯度等级。

在杂质筛查中的应用

完整元素结果表可用于硅片杂质筛查，以及在一致的 RSF 和报告基础上分析的材料之间的比较。应综合考虑数值结果与各元素对应的阈值，以确定每次比较的适用范围。作出定量验收判定时，还需结合适用的校准、测量不确定度及方法验证证据。

结论

GD90TraceRF 实现了硅片的直接多元素分析，将 B、P、C 结果与广泛的痕量杂质报告相结合。75 元素结果表中包含 12 项 0.002–4.2 mg/kg 的杂质数值结果及 62 项带阈值限定的结果。这种组合为杂质筛查和一致方法下的材料比较提供了详细的组成信息。