

“同一种”6N铜，两种命运：从检测差异深度解析同位素铜与溅射靶材的本质区别

内容目录

[引言：一个“6N铜锭”的身份之谜](#)

[核心剖析：“6N”的两种解读，由应用场景定义“纯度”](#)

[场景一：溅射靶材用铜 —— 追求极致的“化学纯度”](#)

[场景二：同位素铜 —— “同位素纯度”优先于一切](#)

[结论：应用之差导致标准之别，而非质量优劣](#)

[证据链：从检测报告看中俄标准的“关注点”差异](#)

[中国标准（以用户提供的检测报告为蓝本）](#)

[俄罗斯标准（根据用户描述推演）](#)

[产业视角：为何会产生这种“标准错配”？](#)

[生产工艺的鸿沟](#)

[市场与供应链的区隔](#)

[“6N”标签的滥用与误解](#)

[结论与启示：精准定义需求，是驾驭尖端材料的关键](#)

引言：一个“6N铜锭”的身份之谜

故事始于一个看似简单的技术争议：一块在俄罗斯通过检测，被认证为“6N”（纯度99.9999%）的同位素铜锭，在运抵中国后，按照国内半导体行业对溅射靶材用6N铜的严格标准进行复检时，结果却令人大跌眼镜——其化学纯度远未达到6N级别，多种杂质元素严重超标。这一戏剧性的反差，引发了一个直击尖端材料领域核心的疑问。

这究竟是一起简单的国际贸易中的产品质量问题，还是两种截然不同的应用场景下，标准与定义的“鸡同鸭讲”？矛盾的焦点迅速汇聚于一个核心问题：检测结果的巨大差异，是否根源于同位素铜与溅射靶材用铜在最终应用方向、性能要求、乃至对“6N”这一纯度标签定义上的根本性不同？换言之，同位素铜的主要应用场景，是否本身就不需要像半导体溅射靶材那样，对高达70种潜在的杂质元素进行地毯式的检测与控制？



一块具有粗糙纹理表面的铜锭，代表了故事中引发争议的原材料

这个“身份之谜”并非个案，它深刻地反映了高技术产业发展中，材料科学日益细分化、专业化的趋势。本文将以此为切入点，层层剥茧，系统性地展开分析。我们将首先厘清“6N”纯度在不同技术语境下的两种截然不同的解读；随后，深入对比同位素铜与溅射靶材用铜这两种材料在核心应用、性能痛点上的本质差异；接着，我们将结合用户提供的具体检测报告进行严谨的实证分析，直观展示两种标准体系的“关注点”之别；最后，从产业视角探讨这种“标准错配”现象的成因。通过这一系列分析，我们旨在揭开这块“6N铜锭”身份之谜的真相，并为从事尖端材料采购、研发和应用的专业人士提供具有实践价值的启示。

核心剖析：“6N”的两种解读，由应用场景定义“纯度”

在尖端材料科学中，一个基本原则是：**材料的性能服务于应用，而材料的标准则服务于性能**。因此，“纯度”并非一个放之四海而皆准的绝对概念，它的内涵、定义

和衡量标准，完全由其最终的应用场景所决定。用户所面临的困境，其根源正在于对“化学纯度”与“同位素纯度”这两个核心概念的混淆。

场景一：溅射靶材用铜 —— 追求极致的“化学纯度”

在半导体制造的宏伟蓝图中，溅射靶材扮演着至关重要的“墨水”角色。它的使命，是通过一种名为物理气相沉积（Physical Vapor Deposition, PVD）的工艺，在硅晶圆上构建出比人类头发丝还细数千倍的金属导线网络（即铜互连），或在显示面板上形成导电电极。



用于半导体制造的各种高纯铜溅射靶材组件，其几何形状和表面光洁度都经过精密加工

应用需求与关键痛点：

想象一下，这个过程如同用一台超高精度的“原子喷枪”，将靶材上的铜原子一个个“打”下来，并均匀地沉积在芯片表面。在这个纳米级别的世界里，任何非铜的“杂质”原子都可能引发灾难性后果。例如：

- **碱金属杂质（如Na, K）**：这些活泼的离子会轻易地在半导体栅极氧化层中漂移，导致晶体管的阈值电压发生变化，使芯片逻辑混乱。
- **重金属杂质（如Fe, Ni, Cr）**：它们会在硅晶格中形成所谓的“深能级陷阱”，成为电子和空穴的复合中心，大幅缩短载流子寿命，导致器件漏电、性能衰减。
- **放射性元素（如U, Th）**：其衰变释放的 α 粒子会轰击存储单元，造成“软错误”（Soft Error），使存储的数据发生翻转。
- **气体杂质（如O, N, C）**：它们会在沉积的铜膜中形成氧化物或氮化物，增加薄膜电阻率，影响信号传输速度，并可能在后续热处理中形成空洞，导致电路断裂。

正是由于对这些杂质的“零容忍”态度，半导体行业对溅射靶材的纯度提出了近乎苛刻的要求。薄膜的导电率、附着力、均匀性和可靠性，都与靶材的化学纯净度直接挂钩，任何微小的污染都可能导致价值数百万美元的晶圆报废，直接冲击芯片的良率和最终性能。根据行业研究，溅射薄膜的纯度与靶材纯度密切相关，为了满足半导体更精细的工艺需求，靶材纯度要求通常达到99.9995%（5N5）甚至更高。

“6N”的定义与标准：

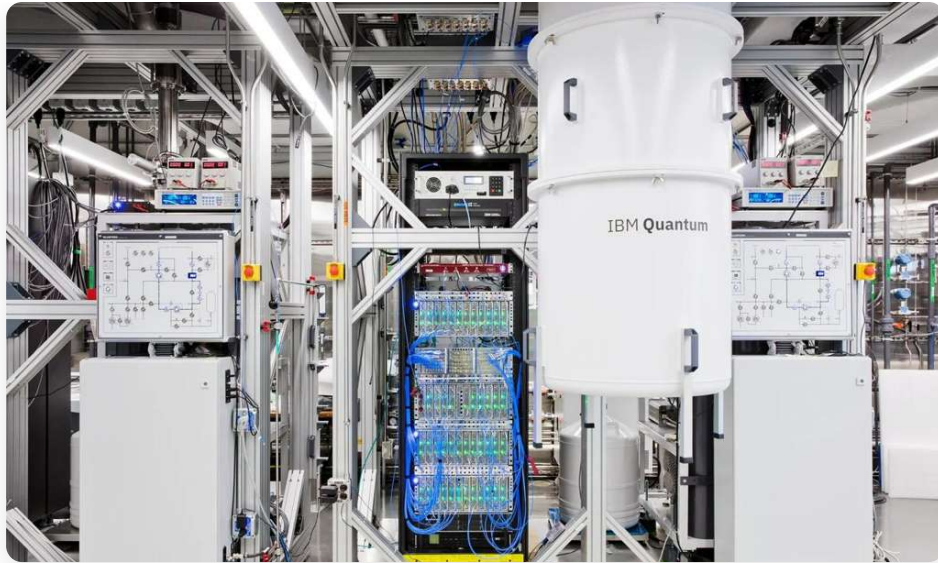
在此背景下，溅射靶材语境中的“6N”（即99.9999%）拥有一个唯一且明确的定义：**化学纯度**。这意味着，在铜基体（Matrix）之外，所有其他杂质元素的总重量占比必须低于百万分之一（1 ppm）。

为了确保这一点，行业制定了详尽的检测标准，其中最具代表性的就是中国的[GB/T 26017-2020《高纯铜》](#)国家标准。该标准不仅定义了不同纯度等级（从5N到7N），更重要的是，它要求对材料进行**全元素、地毯式的排查**。根据官方文件和行业实践，这种检测通常覆盖元素周期表中超过70种潜在的杂质元素。例如，北京市的《重点新材料首批次应用示范指导目录》中明确规定，用于300mm晶圆制造的高纯铜靶，纯度需 $\geq 6N$ ，且对具体杂质含量有严格限制：金属杂质元素含量均 $\leq 0.2\text{ppm}$ ，非金属杂质元素含量均 $\leq 1\text{ppm}$ 。

这种检测逻辑的核心在于：对于溅射靶材而言，任何非铜原子在理论上都是一个潜在的“缺陷”，必须尽最大可能地识别并排除。因此，其检测体系追求的是“广度”和“深度”的统一，不放过任何一个可能造成危害的元素。

场景二：同位素铜 —— “同位素纯度”优先于一切

转换视角，我们进入一个截然不同的世界——同位素铜的应用领域。这里的舞台是量子计算机的超导量子比特、核聚变反应堆的关键部件、高精度医疗诊断试剂等前沿科技阵地。



IBM量子计算系统，其内部的超导量子比特等核心部件对材料的同位素纯度有极高要求

应用需求与关键价值：

同位素铜的价值锚点，并非化学上的绝对纯净，而是其**独特的同位素组分**。我们知道，自然界中的铜元素是两种稳定同位素——Cu-63（原子核内有34个中子，丰度约69.17%）和Cu-65（原子核内有36个中子，丰度约30.83%）的混合体。同位素铜，则是通过激光分离、气体离心或电磁分离等极其复杂的物理手段，将这两种同位素分离开来，从而获得其中一种同位素丰度极高（例如，Cu-63丰度 > 99.9%）的产物。

为何需要如此大费周章地分离同位素？因为在许多尖端物理应用中，不同同位素的微物理特性差异会被急剧放大：

- **量子计算：**量子比特的性能（如相干时间）对周围环境的“噪声”极为敏感。天然铜中两种同位素的原子核自旋（nuclear spin）不同，会产生不同的磁场波动，对超导量子比特造成干扰，这是导致量子退相干的重要原因之一。使用单一纯同位素的铜（如同位素纯铜）可以创造一个更“宁静”、更均匀的电磁环境，从而显著延长量子比特的寿命，提高计算的稳定性和精度。此外，不同同位素的晶格振动模式（声子谱）也不同，这会影响材料的低温热导率，而这对于需要维持在接近绝对零度环境下的量子芯片至关重要。
- **核工业与研究：**Cu-63和Cu-65对中子的吸收和反应截面（cross-section）存在显著差异。在核反应堆设计中，可以选择特定同位素来制造需要与中子发生特定相互作用（或避免相互作用）的构件。例如，[Buylsotope.com](https://www.buylsotope.com)提到，Cu-63可用于研究核反应堆中的能量释放，而Cu-65则用于研究反应堆包层的能量排放。
- **医疗同位素生产：**放射性同位素Cu-64（半衰期12.7小时）在PET成像和癌症治疗中具有重要应用。它通常通过加速器或反应堆轰击靶材制备。如果使用高丰度的Cu-63或Cu-65

作为靶材，可以大大提高目标产物Cu-64的产额和比活度，同时减少副产物的生成。

“6N”的定义与标准：

在“同位素铜”的语境下，如果出现“6N”这个标签，其含义就变得复杂且可能具有误导性。它最有可能指的是其**基体铜的化学纯度达到了99.9999%**，但这并非其核心价值所在。同位素铜的首要、也是最关键的技术指标是**同位素丰度或同位素纯度** (Isotopic Purity)，例如，“Cu-63丰度 > 99.7%”。

因此，同位素铜的检测标准体系与溅射靶材截然不同。其检测的重中之重是**精确测量Cu-63和Cu-65的相对比例**，以确认其同位素纯度是否达标。对于化学杂质，其检测逻辑是“抓大放小、按需控制”。它通常只关注那些会对其特定物理应用产生显著负面影响的**关键元素**。例如，在核应用中，可能会严格控制那些具有高中子吸收截面的元素（如B, Cd, Gd）；在量子计算中，则会严格控制磁性杂质（如Fe, Co, Ni）。

这完美地解释了为何俄罗斯的检测标准可能只覆盖了11种元素。这并非检测能力不足，而是一种**目标明确、成本效益更高**的质量控制策略。对于同位素铜而言，其核心任务是确保“对的”铜原子（如Cu-63）足够多，“错的”铜原子（如Cu-65）足够少。化学杂质是次要矛盾，只需控制在干扰其核心物理特性（如核自旋、中子反应等）的水平即可。那些在半导体领域致命的杂质（如P, S, Zn），在这些物理应用场景中可能影响甚微，因此无需投入高昂成本进行全面检测。

结论：应用之差导致标准之别，而非质量优劣

综上所述，我们可以得出一个清晰的结论：用户遇到的检测结果巨大差异，其本质是用**“A场景”（半导体溅射）的尺子，去测量为“B场景”（同位素应用）生产的货**。这是一次典型的应用与标准的错配。

- **俄罗斯的检测：**其目的在于验证该铜锭是否符合**同位素铜**的规格要求。检测结果显示，其同位素比例正确，且其关注的11种关键杂质受控。因此，从同位素铜供应商和用户的角度看，这块铜锭是“合格”的。
- **中国的检测：**其目的在于验证该铜锭是否能用作**半导体溅射靶材**。检测依据GB/T 26017-2020标准，考核的是极致的化学纯度，要求对70余种杂质进行全面且严苛的限制。从这个角度看，该铜锭因含有多种超标的化学杂质而“不达标”。

因此，这并非一个简单的产品质量优劣问题，而是一个深刻的**应用领域与标准体系错配**的问题。这块铜锭很可能是一块高价值、高质量的同位素铜，但它从设计、生产到质检，都不是为半导体溅射应用准备的。将它用于溅射，无异于用一把精密的“外科手术刀”去当“砍柴斧”，不仅无法发挥其真正价值，反而会因为“不适用”而造成巨大浪费和生产风险。

证据链：从检测报告看中俄标准的“关注点”差异

理论分析需要现实证据的支撑。幸运的是，用户提供的文件——一份详尽的70元素检测报告和一份中俄检测差异说明——为我们提供了剖析这一问题的“铁证”。通过对这些数据的具象化分析，我们可以直观地看到两种标准体系在关注点上的天壤之别。

中国标准（以用户提供的检测报告为蓝本）

这份报告是本次分析的核心物证。它体现了半导体材料检测的典型特征：高精度、全覆盖。

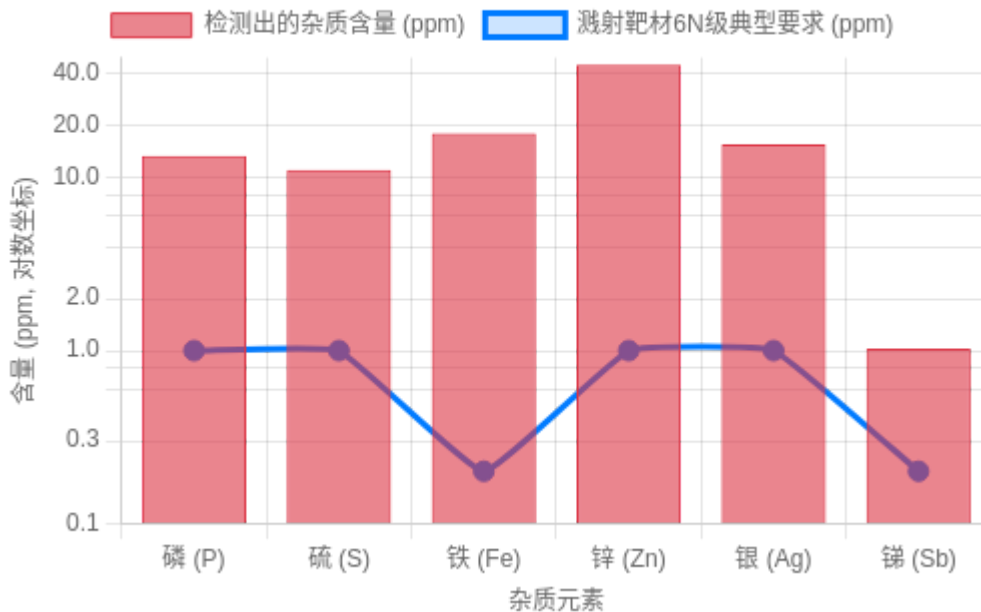
检测方法与精度：

报告明确指出，检测方法依据的是[YS/T 922](#)（推测应为相关高纯金属检测标准，如辉光放电质谱法），并采用了辉光放电质谱仪（Glow Discharge Mass Spectrometry, GDMS）。GDMS是全球公认的固体材料中超痕量元素分析的权威技术，能够实现ppb（十亿分之一）甚至ppt（万亿分之一）级别的检测精度。用户文件中提到“我方检测杂质金属元素用的单位是PPb级”，这与GDMS的能力完全相符，也反映了半导体行业对杂质控制的极致要求。

关键数据分析与可视化：

报告中最具冲击力的部分，是几个关键杂质元素的含量。为了更直观地展示其与半导体6N标准要求的巨大差距，我们将其中的代表性数据进行可视化处理。

同位素铜锭中关键杂质含量 vs. 6N溅射靶材标准



图表：基于用户提供的检测数据，对比了该铜锭中几种关键杂质的含量与6N溅射靶材的典型限值（注意Y轴为对数坐标以容纳巨大差异）

影响解读：

从图表可以清晰地看到，该铜锭的多种杂质含量，相较于溅射靶材的要求，超标了数十倍甚至数百倍。这些杂质对于半导体制造是绝对致命的：

- **P (磷): 13.46 ppm** 和 **S (硫): 11.19 ppm**：这些非金属元素会严重影响铜膜的电学和机械性能，增加电阻率，并可能在铜晶界偏析，导致电迁移问题，降低芯片寿命。
- **Fe (铁): 18.21 ppm**：作为一种强磁性杂质，铁的存在会干扰芯片内部的电磁场，对于需要精密磁场控制的应用（如MRAM）是不可接受的。其含量比0.2 ppm的标准高出近100倍。
- **Zn (锌): 45.32 ppm**：高含量的锌会显著改变铜的合金特性，影响其功函数和导电性，导致薄膜性能的不可预测性。
- **Ag (银): 15.69 ppm**：虽然银是良导体，但其在铜中的固溶度有限，容易在晶界析出，改变薄膜的微观结构和应力，影响可靠性。

这份覆盖70种元素、精度达ppb级的报告，完美诠释了溅射靶材标准对“化学纯度”的极致追求。任何偏离“纯铜”的化学成分，都被视为必须清除的“污染”。

俄罗斯标准（根据用户描述推演）

与中国的“全面普查”形成鲜明对比，俄罗斯的检测标准（根据用户描述）是一种**目标明确、非全面的“重点检查”**。

检测范围与关注点推测：

仅覆盖11种元素，这本身就强烈暗示了其检测目的并非评估通用化学纯度。这11种元素（用户文件提到Li, Be, Ti, V, Co, Mo, Cd, Pt, Au, Bi, Cu）很可能是针对其特定应用场景（如核物理、量子实验）中影响最为显著的杂质。例如，Li, Be, B（硼，虽未列出但常被关注）等轻元素在核反应中行为特殊；Cd（镉）是著名的中子吸收剂；Co（钴）可能被中子活化产生强放射性的Co-60。这种“清单式”的检测，旨在确保材料不会因为某些特定的“坏分子”而无法在其预设的高精尖场景中使用。

同位素丰度——真正的焦点：

用户文件中最关键的一条信息是关于同位素丰度的对比：

- **中方检测结果：** Cu-63为69.05%，Cu-65为30.95%。
- **俄方数据：** Cu-63为69.09%，Cu-65为30.91%。

这两组数据非常接近，并且都与天然铜的同位素丰度（Cu-63: ~69.17%, Cu-65: ~30.83%）高度一致。这说明，这块铜锭很可能是一块**未经同位素富集、但被标记为“同位素铜”的天然丰度铜**。在贸易中，“同位素铜”有时被宽泛地用于指代用于同位素相关领域的高纯铜，即使其同位素比例是天然的。无论如何，双方都对同位素比例进行了测量，这本身就证明了该材料的“同位素”属性是其身份定义的一部分，是交易双方共同关注的焦点。

中俄检测结果的微小差异（0.04%）完全在不同设备、不同批次测量的正常误差范围内。这恰恰反向印证了：在这块铜锭的“身份档案”中，**同位素组分是其核心特征，而化学杂质则是根据特定需求进行选择控制**的次要指标。

产业视角：为何会产生这种“标准错配”？

这种“6N铜锭”的身份错配并非偶然，它是全球高技术产业链分工、不同技术领域发展路径差异以及市场信息不对称共同作用的结果。从更宏观的产业视角审视，我们可以

发现其背后深刻的成因。

生产工艺的鸿沟

同位素铜与高纯化学铜（溅射靶材原料）的价值差异，根植于其截然不同的生产工艺路径，这决定了它们的成本结构和技术壁垒所在。

- **高纯化学铜的制备：**其核心是“化学分离”。主流工艺通常始于高纯度的电解铜（约4N-5N），再通过真空感应熔炼（VIM）、电子束熔炼（EBM）或区域熔炼等火法冶金手段，利用不同元素在高温真空下的蒸气压差异、氧化性差异或在熔融金属中溶解度的差异，将杂质元素逐步去除。整个过程的目标是**去除所有异种化学元素**，技术核心在于对冶金过程的精密控制。中国在这一领域已取得长足进步，[有研科技集团](#)等企业已能生产出6N甚至7N级的超高纯铜，并实现了12英寸铜靶材的国产化。
- **同位素铜的制备：**其核心是“物理分离”。它是在化学提纯的基础上，增加了一道技术难度和成本都呈指数级增长的工序。由于同位素之间化学性质几乎完全相同，无法用化学方法分离，只能利用它们极其微小的质量差异。主流技术包括：
 - **原子蒸气激光同位素分离（AVLIS）：**利用不同同位素原子对特定波长激光的吸收光谱有微小差异的原理，用高度调谐的激光选择性地激发某一种同位素原子，再将其电离并用电磁场收集起来。该技术设备极其复杂，能耗巨大。
 - **气体离心法：**将铜转化为易挥发的化合物（如氟化物），在高速旋转的离心机中，较重的Cu-65同位素会被更多地甩向外壁，从而实现分离。这与浓缩铀的技术原理类似。
 - **电磁同位素分离（Calutron）：**原理类似质谱仪，将离子化的铜束在磁场中偏转，不同质量的同位素离子偏转半径不同，从而被不同的接收器收集。

这些物理分离方法的共同特点是：技术高度保密、设备投资巨大、生产效率极低。因此，同位素铜的技术壁垒主要在于同位素分离环节，而非前段的化学提纯。

市场与供应链的区隔

生产工艺的差异，直接导致了两个截然不同的市场和供应链生态。

- **溅射靶材市场：**这是一个高度工业化、规模化的电子材料市场。全球市场规模达数十亿美元，并以稳定速度增长。供应商（如日本的JX日矿金属、东曹，美国的霍尼韦尔，中国的[江丰电子](#)、有研亿金）与下游客户（如台积电、中芯国际、英特尔）之间形成了紧密的合作关系和一套全球通行的、以SEMI标准为基础的严格质量认证体系。产品标准化程度高，供应链相对透明。

- **同位素铜市场：**这是一个产量极小、按克或公斤计价、高度定制化的战略物资或科研用品市场。全球年需求量可能仅为数吨级别。其生产和供应长期被少数国家（如俄罗斯、美国、中国）的国有机构或特定研究单位垄断，具有地缘政治属性。其标准体系相对封闭，通常由供需双方根据具体应用协议确定，缺乏全球统一的公开标准。

这种市场区隔导致了信息壁垒。一个半导体行业的采购工程师，可能对GB/T 26017-2020了如指掌，但对同位素铜的特殊要求闻所未闻；反之，一个从事核物理研究的科学家，可能只关心材料的同位素丰度和几种关键杂质，而对半导体行业要求的70种元素全分析感到不可思议。

“6N”标签的滥用与误解

在商业推广和贸易沟通中，“6N”作为一个极具吸引力的高纯度标签，很容易被泛化甚至滥用。当一个产品同时具备“同位素”和“6N”两个标签时，极易产生歧义。对于不熟悉背景的采购方而言，他们很自然地会将“6N”理解为他们所熟悉的、唯一的含义——即满足半导体标准的化学纯度。

供应商（尤其是在标准体系不透明的领域）可能出于营销目的，强调其产品基体的化学纯度达到了6N，而对其同位素属性和有限的杂质检测范围轻描淡写。如果采购方未能进行充分的技术尽职调查，没有索取和审核符合自身应用场景的详细分析证书（Certificate of Analysis, COA），就很容易被标签误导，最终导致将为A场景设计的高价值材料错误地采购用于B场景，造成了本文开头所述的困境——既浪费了宝贵的战略资源，又无法满足生产需求，造成了巨大的经济损失和时间成本。

结论与启示：精准定义需求，是驾驭尖端材料的关键

回到最初的问题，我们可以给出明确的结论：这块“6N同位素铜锭”的检测争议，并非一次简单的质量欺诈或检测失误，而是源于对“高纯材料”这一复杂概念的认知偏差。它是一面镜子，清晰地照见了在尖端材料领域一个至关重要的真理：**“纯度”是为“应用”服务的，脱离应用场景谈论纯度，不仅毫无意义，而且极具风险。**

这块铜锭的两种“命运”，深刻地揭示了不同技术赛道对材料性能要求的“失之毫厘，谬以千里”。它可能是一块在量子世界或核领域表现优异的“良材”，却因为其化学成分上的“瑕疵”，在半导体的微观世界里注定成为“废品”。

对从业者的核心启示

这次“标准错配”事件为所有从事高纯材料采购、生产和应用的专业人士提供了宝贵的教训和行动指南：

- 1. 超越标签，直击标准：** 在采购任何高纯材料时，绝不能仅仅满足于“5N”、“6N”、“7N”这类模糊的纯度标签。必须将关注点下沉，索取并仔细核对由权威第三方出具的、详尽的**杂质元素分析报告（Certificate of Analysis, COA）**。报告中的检测方法、检测范围和具体数据，才是判断材料是否适用的唯一依据。
- 2. 明确需求，精准沟通：** 在与供应商沟通时，必须将技术要求前置。清晰地对方说明材料的最终用途（例如：用于28nm工艺节点的铜互连溅射靶材），并提供所需遵循的具体行业标准（例如：必须符合GB/T 26017-2020中对HPCu-6N的全部要求）。这种前置的、精准的技术沟通，是避免后续检测纠纷和生产风险的最有效手段。
- 3. 尊重专业，理解差异：** 必须深刻认识到，尖端材料领域已经高度细分。不同细分领域的材料具有其独特的价值锚点。在评估一块材料时，要问对关键问题：它的核心价值在于**化学纯度**，还是**同位素纯度**？亦或是**晶体结构、织构取向、微观组织均匀性**？只有理解了材料真正的价值所在，才能做出正确的采购决策，并将其用在最合适的地方，实现其价值最大化。

总而言之，驾驭尖端材料，如同在精密地图上航行。模糊的标签是靠不住的“海市蜃楼”，唯有精准的需求定义、详尽的标准规范和深刻的专业理解，才是引领我们到达目的地的可靠“罗盘”。

参考资料

[1] 溅射靶材- P5 半导体行业应用 - 知乎专栏

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/536052260>

[2] [DOC] <http://www.cnsmq.com/uploadfile/2019/1023/20191023...>

<http://www.cnsmq.com/uploadfile/2019/1023/20191023113920358.docx>

[3] 高纯度同位素铜粉市场的大小和预测 - Market Research Intellect

<https://www.marketresearchintellect.com/zh/product/high-purity-isotopic-copper-powder-market/>

[4] Copper isotopes - BuyIsotope

<https://www.buyisotope.com/copper-isotopes.php>

[5] 宁波江丰电子材料股份有限公司-

<https://www.kfmic.com/>

[6] 高纯铜 - 国家标准信息公共服务平台

<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D7DF3DD3A7E05397BE0A0AB82A>

[7] 同位素铜检测结果

https://static-recommend-img.tiangong.cn/prod/analysis/2025-07-24/958638/1948058932670304256_b7056698de3511d8e3f57499c79a3868.png

[8] 检测结果差异原因

https://static-recommend-img.tiangong.cn/prod/analysis/2025-07-24/958638/1948059021153849344_37eb18a55e206eaf8aab23cd943f21e4.png

[9] Copper isotopes - BuyIsotope

<https://www.buyisotope.com/copper-isotopes.php>

[10] 探讨同位素铜在航空航天领域中的应用_同位素铜

<https://www.sanjiaoyi.com/?m=home&c=View&a=index&aid=122>

[11] 助力提升良率，赛默飞半导体行业综合解决方案

<https://www.thermofisher.cn/cn/zh/home/industrial/manufacturing-processing/manufacturing-processing-learning-center/electronics-information/semiconductor-analysis-imaging-metrology-information/semiconductor.html>

[12] [PDF] 附件1 《北京市重点新材料首批次应用示范指导目录(2021 年版)》

<https://jxj.beijing.gov.cn/jxd/tzgg/202204/P020220819578889706557.pdf>

[13] Isotope Copper in Quantum Computing - Fayafi Investment Holding

<https://fayafi.ch/quantum-computing>

[14] High Purity Copper Sputtering Target Materials for Semiconductor ...

<https://www.verifiedmarketreports.com/product/high-purity-copper-sputtering-target-materials-for-semiconductor-market/>

[15] Role of Isotope Copper | Fayafi Investment Holding

<https://fayafi.ch/role-of-isotope-copper>

[16] [PDF] Corporate Overview - ASP Isotopes

<https://aspisotopes.com/wp-content/uploads/2022/10/Company-Presentation.pdf>
