

电子化学品标准化现状及展望

全灿*

(中国计量科学研究院,北京 100029)

摘要:电子化学品是半导体、显示面板、光伏等电子工业的核心配套材料,被誉为芯片产业的“生长激素”,广泛应用于晶圆清洗、蚀刻、光刻、沉积等关键制程。电子化学品主要包括超净高纯试剂、光刻胶配套溶剂、特种气体等卡脖子材料,其纯度和杂质含量直接影响芯片产品性能。我国高度重视电子化学品的国产化生产,标准化是支撑我国半导体产业自主发展的关键技术支撑。首次系统分析了多晶硅、智能手机柔性电子材料等电子化学品在芯片制作过程中的应用及市场布局;研究了国际半导体产业协会(SEMI)代表性电子级溶剂、酸、碱以及电子特气等代表性电子化学品的标准化概况以及我国电子化学品领域的相关政策以及标准化现状;总结了我国电子级溶剂纯度和痕量杂质领域相关标准物质研制及其量值溯源技术研究概况,包括系列高纯溶剂标准物质、高纯硅标准物质和超高纯氦气纯度标准物质等为构建自主可控的半导体材料供应链提供了关键技术支撑。研究成果对推进电子化学品国产化进程、保障我国半导体产业安全、服务国家高质量发展战略具有重要参考价值,尤其为破解我国高端电子化学品“生产工艺-产品标准-量值溯源”提供了系统性支撑。

关键词:电子化学品;标准化;标准物质;半导体材料供应链

中图分类号:O6;TQ42 **文献标识码:**A **文章编号:**0258-3283(2025)09-0021-08

DOI:10.13822/j.cnki.hxsj.2025.0071

Current Status and Prospects of Standardization of Electronic Grade Chemicals QUAN Can* (National Institute of Metrology China, Beijing 100029, China)

Abstract: Electronic chemicals are core supporting materials for the electronics industry, including semiconductors, display panels, and photovoltaics, and are often referred to as the “growth hormone” of the chip industry. They are widely used in key manufacturing processes such as wafer cleaning, etching, photolithography, and deposition. These critical materials, including ultra-pure reagents, photoresist solvents, and specialty gases, directly affect chip performance due to their purity and impurity levels. China places great emphasis on the domestic production of electronic chemicals, with standardization serving as a key technological foundation for the independent development of the semiconductor industry. This study presented a systematic analysis of the applications and market landscape of electronic chemicals, such as polysilicon and flexible electronic materials used in smartphones, in chip manufacturing. It examined the standardization frameworks of representative electronic-grade solvents, acids, alkalis, and specialty gases established by the International Semiconductor Industry Association (SEMI), alongside relevant policies and standardization developments in China. The research also summarized key achievements in the development of certified reference materials and metrological traceability for high-purity solvents and trace impurities. These included a series of high-purity solvent reference materials, high-purity silicon reference materials, and ultra-high-purity helium gas standards, all of which provided essential technical support for building a self-sufficient semiconductor material supply chain. The findings offer valuable insights for accelerating the localization of electronic chemicals, ensuring the security of China’s semiconductor industry, and supporting the national high-quality development strategy. In particular, this work provided a systematic framework for addressing challenges related to the “production processes-product standards-metrological traceability” for high-end electronic chemicals.

Key words: electronic grade chemicals; standardization; certified reference materials; semiconductor materials supply chain

芯片制造也许代表了人类最先进的技术成就,其设计、制造和大规模生产,7 nm 制程的集成电路实现了近乎零误差的电路精度,是世界上最复杂的技术密集型流程。同时,研发成本高达数十亿美元,占年利润的 20% 以上(而且还在上升)。此外,建立一个高度自动化的人工智能工厂的成本从 100 亿美元开始,需要 100% 的“洁净

室”,比一般的医院环境要无菌 10 万倍。目前

收稿日期:2025-04-01;修回日期:2025-06-23

基金项目:国家质量基础技术研究项目有机纯物质中关键杂质精确计量研究课题项目(NQI,2017YFF0205803)。

作者简介:全灿(1977-),男,湖南衡南人,博士,研究员,主要研究方向为高纯物质分离纯化,E-mail:quancan@nim.ac.cn。

只有少数跨国公司能在这种充满活力的环境中竞争。

电子化学品主要是为芯片制造等电子工业配套精细化工材料,就生产工艺属性而言,属于精细化工行业。电子化学品行业属于“专项化学用品制造业”2662,属于“专用化学产品制造业”C4360,包括集成电路和分立器件用化学品,如芯片生产用光致抗蚀剂、湿电子化学试剂、电子特气等。

标准是由权威机构组织相关方协商一致后批准发布的规范性文件,其制定基于科学、技术和实践经验的综合成果,旨在特定范围内实现最佳秩序,并为重复性活动提供共同遵循的准则和依据

本文首先介绍电子化学品应用及需求,在此基础上,介绍了国际电子化学品标准化概况以及电子化学品标准化概况,重点介绍电子级高纯溶剂标准物质研制以及量值溯源研究。

1 电子化学品应用及需求

1.1 芯片:未来所有产业的核心

半导体(也称为“微芯片”)是一种具有独特电学特性的固体材料,其导电性能介于导体与绝缘体之间,并可通过掺杂等手段精确调控其载流子浓度和导电特性。半导体有 3 种类型:分立器件、集成电路(IC)、光电器件;分立半导体只有一个晶体管;集成电路包含多个晶体管。集成电路是最典型的微芯片类型,其核心技术基于半导体材料特性,因此在产业界通常被归类为半导体器件。令人印象深刻的是这些微小尺寸的芯片设备可执行复杂的科学功能。1 个硅原子直径 0.5 nm,当今最先进的微芯片以 7 nm 或更小的商业体积生产^[1-5]。芯片与人民的生产生活密切相关:如国防安全 3D 打印、汽车芯片、旅行、能源供应、工作电脑、休闲娱乐、医疗健康等。2019 年我国货物进口总额高达约 2.1 万亿美元^[6-8]。

2019 年中国进口最高的货物类别依次是:机电设备:4 968 亿美元(占进口总额的 24%);石油:3 436 亿美元(16.6%);光学、技术、医疗器械:987 亿美元(4.8%);车辆:751 亿美元(3.6%);塑料、塑料制品:716 亿美元(3.5%);宝石、贵金属:605 亿美元(2.9%);有机化学品:578 亿美元(2.8%);铜:408 亿美元(2%)^[9-12]。

中国前十大进口产品占其从其他国家购买产品总价值的 3/4 以上(77.3%)。石油、塑料制品

和有机化学品累计 4 730 亿美元(22.9%),占前十的 29.6%。近年全球半导体销量相关技术突破 4 680 亿美元。中国是目前世界上半导体市场最大的进口商,我国已成为全球最大的半导体生产和液晶面板出口国。半导体相关产品是中国最大的进口产品,甚至超过进口油量^[13-18]。

中国在集成电路领域的供需结构高度依赖美国及其他国际企业的市场需求,包括进口需求以及外资厂商在中国本土市场的供给。

1.2 电子化学品应用

光刻工艺作为半导体制造中的核心环节,其技术复杂度和工艺精度直接决定了芯片的集成度与性能表现。该工艺主要包含晶圆表面预处理、旋涂光刻胶、精准对准曝光、边缘显影去胶(EBR)、软烘烤、选择性曝光、后烘烤、化学显影、硬烘烤以及最终的封装测试等关键流程^[19,20]。光刻工艺约占据芯片制造成本的 30%,耗时约占整个生产周期 40%~50%。光刻工艺核心是通过纳米级图形转移技术,将设计版图精确复制至晶圆表面,为后续蚀刻、离子注入等工艺提供精密掩模,是现代微电子制造中的关键制程^[21,22]。

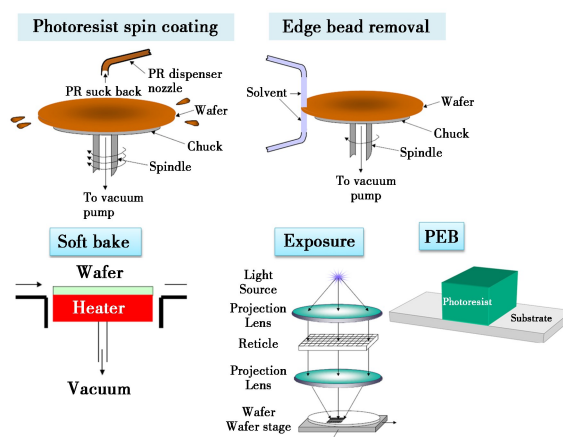


图 1 电子化学品在芯片制作过程中应用

Fig.1 Application of electronic chemicals in the chip manufacturing process

1.3 电子化学品需求

电子化学品等配套高端试剂是芯片产业的“生长激素”。

电子化学品:利用化学反应、工艺将电路图形转移到基片上,主要组成包括聚合物、溶剂、光敏剂、添加剂等^[23-25]。

品种全:提供各种电子化学品及配套试剂;品质高:杂质限量 < 10 μg/kg。光刻配套试剂 Auxiliary Chemicals: Developers, Removers, solvents

for edge-bead removal and dilution of resists。电子级溶剂广泛应用于微电子、光电子湿法工艺制程中,是显示面板、半导体、太阳能电池等设备制造中不可缺少的原料。选择合适的电子级溶剂对产品质量至关重要,若溶剂中含有多余的金属离子和个别尘埃颗粒,会导致面板产生较大缺陷或影响产品合格率。经过 0.2 μm 孔径过滤器过滤,控制 0.5 μm 粒子和个数,专业无尘车间灌装。生产 2 g 微芯片:需要 32 kg 水,700 g 超纯气、1.6 kg 燃料和 72 g 化学配套试剂,约占 IC 制造材料总成本 12%^[26-29]。

作为半导体光刻胶用超高纯配方型有机试剂,其质量好坏直接影响到所制芯片的性能。因此对其有机杂质、水分、阴阳离子含量和颗粒物有着极为严苛的要求。试剂中的离子和颗粒物容易造成芯片被击穿或者缺陷,影响性能和使用寿命^[30,31]。

1.3.1 多晶硅

多晶硅-三氯氢硅氢还原法:HCl 与硅粉反应生成 SiHCl_3 , 精馏提纯 SiHCl_3 , H_2 还原 SiHCl_3 高纯硅,通过化学气相沉积 CVD 转化为多晶态硅棒;最终经过物理破碎、化学酸洗、超纯水水洗和真空包装等工序,得到纯度极高的电子级多晶硅。太阳能等级多晶电池:99.99999% (7N) ~ 99.999999% (8N);太阳能级单晶电池(单级):9~10 N;半导体电子级:10~11 N。

1.3.2 智能手机柔性电子材料

超薄膜厚及均匀性-ultrathin “wallpaper” TVs just millimeters thick-光学方法导电性能检测-light method (THz) to test materials' conductivity;导电塑料分子研究-Tim & Ted (chemists); novel plastics conduct electricity (PCDTPT)。

1.3.3 电子化学品市场格局

电子化学品市场主要被东京应化、JSR、陶氏化学、信越化学、富士胶片、杜邦、住友化学、默克等企业垄断。中国电子化学品严重依赖进口。

全球电子化学品市场预计年增长率 5.90%,其中中国大陆增幅最快;信越化学投资 1.08 亿美元在我国台湾地区建立了一家半导体电子化学品工厂。

2 国内外电子化学品标准化现状简介

2.1 SEMI 标准

国际半导体产业协会 (SEMI) 主要致力于全

球微电子、半导体及太阳能光电产业整体发展,投入世界各大主要科技领域,包括中国台湾(新竹)和上海、北京等全球范围有 14 个办公室。SEMI 主要活动包含举办会展、推动国际标准、公共政策、市场研究以及产业环境、健康与安全 (EHS) 等。

SEMI 国际标准计划包括晶圆标准化、超纯水等标准制定,为自由市场和降低半导体制造成本提供技术支持。

2.1.1 SEMI 超纯水标准

SEMI 有关超纯水的主要标准如表 1 所示,包括超纯水中聚合物表面粗糙度、过滤器的效能评估等。

表 1 SEMI 超纯水标准系列

Tab.1 SEMI ultra pure water standards series

标准号	标准名称
SEMI C78	Test Method for Determining Roughness of Polymer Surfaces Used in Ultrapure Water and Liquid Chemical Distribution Systems by Atomic Force Microscopy (用原子力显微镜测定超纯水和液体化学分布系统用聚合物表面粗糙度的试验方法)
SEMI C79	Guide to Evaluate the Efficacy of Sub-15 nm Filters Used in Ultrapure Water (UPW) Distribution Systems (超纯水 (UPW) 配水系统中使用的小于 15 nm 过滤器的效能评估指南)
SEMI C87	Test Method for Determining Roughness of Polymer Surfaces Used in Ultrapure Water and Liquid Chemical Distribution Systems by Contact Profilometry (用接触轮廓测量法测定超纯水和液体化学分配系统用聚合物表面粗糙度的试验方法)
SEMI C93	Guide for Determining the Quality of Ion Exchange Resin Used in Polish Applications of Ultrapure Water System (超纯水系统抛光用离子交换树脂质量测定指南)
SEMI PV3	Guide for High Purity Water Used in Photovoltaic Cell Processing (光伏电池加工用高纯水指南)。

2.1.2 电子级溶剂标准

SEMI 主要代表性电子级溶剂标准汇总如表 2 所示,包括电子级丙酮、乙酸正丁酯、甲基 2-吡咯烷酮、PGME 等。

表 2 SEMI 主要代表性电子级溶剂标准

Tab.2 SEMI standards for representative electronic-grade solvents

标准号	标准名称
SEMI C19	Acetone 丙酮
SEMI C24	n-Butyl Acetate 乙酸正丁酯
SEMI C31	Methanol 甲醇
SEMI C32	Methyl Ethyl Ketone 甲乙酮
SEMI C33	n-Methyl 2-Pyrrolidonen 甲基 2-吡咯烷酮

续表

标准号	标准名称
SEMI C38	Phosphorus Oxychloride 氯氧磷
SEMI C41	2-Propanol 异丙醇
SEMI C47	Trans 1,2 Dichloroethylene 反式 1,2 二氯乙烯
SEMI C48	1,1,1-Trichloroethane 1,1,1-三氯乙烷
SEMI C49	Trimethylborate 三甲硼酸盐
SEMI C50	Trimethylphosphite 三甲硼酸盐
SEMI C51	Xylenes 二甲苯
SEMI C53	Dimethyl Sulfoxide (DMSO, 二甲基亚砷) [Grades 1 and 2]
SEMI C72	Propylene-Glycol-Mono-Methyl-Ether (PGME, 丙二醇单甲醚), Propylene-Glycol-Mono-Methyl-Ether-Acetate (PGMEA, 丙二醇单甲醚醋酸酯) and the Mixture 70 wt% PGME/30 wt% PGMEA
SEMI C84	Cyclopentanone 环戊酮
SEMI C85	Methyl Isobutyl Carbinol (MIBC, 甲基异丁基甲醇)

2.1.3 方法标准

SEMI 建立了 16 种溶剂高纯 SEMI 标准和 11 种标准方法, 主要包括 SEMI-C1-液体化学品、SEMI-C10-方法检测限、SEMI-C69-聚合物颗粒表面积的测定; SEMI-C77-最小可检测粒径在 30~100 nm 之间的液载粒子计数器的计数效率; SEMI-C98-化学机械平坦化 (CMP) 粒度分布 (PSD) 测量和报告; SEMI-C82-带液载颗粒计数器的 20~50 nm 液体过滤器的颗粒去除性能; SEMI-C83-应用于 PFA 焊接配件焊接连接的抗拉强度; SEMI-C90-液体化学分配系统用全氟烷氧基 (PFA) 材料的试验; SEMI-C96-化学机械抛光 (CMP) 浆料的密度; C99 化学机械抛光 (CMP) 浆料及相关化学品的导电性; 半导体制造用化学机械平坦化 (CMP) 抛光垫硬度等。

2.1.4 电子级酸

SEMI 主要代表性电子级酸相关标准汇总如表 3 所示, 包括电子级乙酸、盐酸、氢氟酸、硫酸等。

表 3 SEMI 主要代表性电子级酸相关标准

Tab.3 Key SEMI standards for representative electronic-grade acids

标准号	标准名称
SEMI C18	Acetic Acid 乙酸
SEMI C23	Buffered Oxide Etchants 缓冲氧化物蚀刻剂
SEMI C27	Hydrochloric Acid 盐酸
SEMI C28	Hydrofluoric Acid 氢氟酸
SEMI C29	4.9% Hydrofluoric Acid (10:1 V/V) 氢氟酸

续表

标准号	标准名称
SEMI C34	Mixed Acid Etchants 混合酸蚀刻剂
SEMI C35	Nitric Acid 硝酸
SEMI C36	Phosphoric Acid 磷酸
SEMI C37	Phosphoric Etchants 磷酸蚀刻剂
SEMI C44	Guide for Sulfuric Acid 硫酸

2.1.5 电子级碱

SEMI 主要代表性电子级碱相关标准汇总如表 4 所示, 包括电子级氢氧化钾、氢氧化钠等。

表 4 SEMI 主要代表性电子级碱相关标准

Tab.4 Key SEMI standards for representative electronic-grade alkaline chemicals

标准号	标准名称
SEMI C21	Ammonium Hydroxide 氢氧化铵
SEMI C39	Potassium Hydroxide Pellets 氢氧化钾
SEMI C40	Potassium Hydroxide, 45% Solution 氢氧化钾 (45% 溶液)
SEMI C42	Sodium Hydroxide Pellets 氢氧化钠
SEMI C43	Sodium Hydroxide, 50% Solution 氢氧化钠 (50% 溶液)
SEMI C46	25% Tetramethylammonium Hydroxide 四甲基氢氧化铵
SEMI C96	Test Method for Determining Density of Chemical Mechanical Polish (CMP) Slurries 化学机械抛光

2.1.6 电子特气

SEMI 主要代表性电子特气相关标准汇总如表 5 所示, 包括电子级氮气、氢气、氦气等。

表 5 SEMI 主要代表性电子特气相关标准

Tab.5 Key SEMI standards for representative electronic grade gases

标准号	标准名称
SEMI C3	Gases
SEMI C3.2	Arsine (AsH ₃) in Cylinders, 99.94% Quality
SEMI C3.5	Nitrogen (N ₂), Bulk Liquid, 99.998% Quality
SEMI C3.6	Phosphine (PH ₃) in Cylinders, 99.98% Quality
SEMI C3.12	Ammonia (NH ₃) in Cylinders, 99.998% Quality
SEMI C3.15	Nitrogen (N ₂), In Cylinders, 99.9992% Quality
SEMI C3.18	Dichlorosilane (SiH ₂ Cl ₂) in Cylinders, 97% Quality
SEMI C3.19	Hydrogen (H ₂), 99.9995% Quality
SEMI C3.20	Helium (He), in Cylinders, 99.9995%
SEMI C3.24	Sulfur Hexafluoride (SF ₆) in Cylinders, 99.97% Quality
SEMI C3.26	Tungsten Hexafluoride (WF ₆) in Cylinders, 99.8% Quality
SEMI C3.27	Boron Trifluoride (BF ₃) in Cylinders, 99.0% Quality
SEMI C3.28	Nitrogen (N ₂), VLSI Grade in Cylinders, 99.9996% Quality

续表

标准号	标准名称
SEMI C3. 29	Nitrogen (N ₂), Bulk Gaseous, 99.9995% Quality
SEMI C3. 30	Hydrogen (H ₂), Bulk, 99.9997% Quality
SEMI C3. 31	Dichlorosilane (SiH ₂ Cl ₂) in Cylinders, 99% Quality (Provisional)
SEMI C3. 32	Chlorine (Cl ₂), 99.996% Quality
SEMI C3. 34	Disilane (Si ₂ H ₆) in Cylinders, 97% Quality
SEMI C3. 35	Hydrogen Chloride (HCl), 99.997% Quality
SEMI C3. 37	Hexafluoroethane (C ₂ F ₆), 99.97% Quality
SEMI C3. 39	Nitrogen Trifluoride (NF ₃), 99.98%
SEMI C3. 40	Carbon Tetrafluoride (CF ₄), 99.997% Quality
SEMI C3. 47	Hydrogen Bromide (HBr), 99.98% Quality
SEMI C3. 48	Nitrogen (N ₂), Bulk Liquid, 99.9994% Quality
SEMI C3. 49	Bulk Nitrogen (N ₂), 99.99999% Quality
SEMI C3. 51	Boron Trichloride (BCl ₃), 99.98% Quality
SEMI C3. 52	Tungsten Hexafluoride, 99.996% Quality
SEMI C3. 55	Silane (SiH ₄), Bulk, 99.994% Quality
SEMI C3. 56	Diborane Mixtures
SEMI C3. 57	Carbon Dioxide, CO ₂ , Electronic Grade in Cylinders
SEMI C3. 58	Octafluorocyclobutane, C ₄ F ₈ , Electronic Grade in Cylinders, 99.999%
SEMI C54	Oxygen
SEMI C55	Liquid Carbon Dioxide (CO ₂) Critical and Supercritical >/99.99%
SEMI C56	Dichlorosilane
SEMI C57	Argon
SEMI C58	Hydrogen
SEMI C59	Nitrogen
SEMI C60	Nitrous Oxide
SEMI C70	Tungsten Hexafluoride
SEMI C71	Specification and Guide for Boron Trichloride (BCl ₃)

2.2 我国电子化学品标准化概况

国务院《国家集成电路产业发展推进纲要》提到突破集成电路关键装备和材料,开发电子化学品等关键材料、加快产业化进程、增强产业配套能力。

工信部联规〔2016〕454号《新材料产业发展指南》“加快电子化学品、高纯发光材料、高饱和度电子化学品、超薄液晶玻璃基板等批量生产工艺优化”。

《增强制造业核心竞争力三年行动计划(2018—2020年)》“为大型和超大型集成电路提供配套电子化学品”。

2.2.1 电子级水标准化

我国有关电子级水的主要标准如表6所示,包括电子级水测试方法通则、电阻率、痕量金属、

痕量阴离子的测试方法等。

表6 我国有关电子级水的主要标准

Tab.6 Major Chinese standards related to electronic grade water

标准号	标准名称
GB/T 11446.1—2013	电子级水
GB/T 11446.3—2013	电子级水测试方法通则
GB/T 11446.4—2013	电子级水电阻率的测试方法
GB/T 11446.5—2013	电子级水中痕量金属的原子吸收分光光度测试方法
GB/T 11446.6—2013	电子级水中二氧化硅的分光光度测试方法
GB/T 11446.7—2013	电子级水中痕量阴离子的离子色谱测试方法
GB/T 11446.8—2013	电子级水中总有机碳的测试方法
GB/T 11446.9—2013	电子级水中微粒的仪器测试方法
GB/T 11446.10—2013	电子级水中细菌总数的滤膜培养测试方法
GB/T 33087—2016	仪器分析用高纯水规格及试验方法:本标准适用于经0.22 μm微孔滤膜过滤的仪器分析用高纯水的检验

2.2.2 多晶硅

GB/T 12963 电子级多晶硅

本标准适用于以三氯氢硅或四氯化硅用氢还原法制得的多晶硅,规定了以氢还原法(包括三氯氢硅或四氯化硅还原工艺)制备的高纯度多晶硅的技术要求、检测方法、质量控制规范。该标准适用于半导体及光伏产业所需的电子级多晶硅产品,涵盖其牌号分类、理化性能指标(如杂质含量、电阻率等)、检验规则及包装储运要求,旨在确保材料在集成电路制造等高端应用中的可靠性和一致性。

2.2.3 三氯氢硅

GB/T 28654—2018 工业三氯氢硅,本标准适用于以工业三氯氢硅为原料的生产、检验及贸易活动,涵盖其外观、组分含量、痕量杂质控制及安全贮存运输等关键要求,旨在保障产品质量并促进行业规范化发展。

2.2.4 GB/T 28159—2011 电子级磷酸

根据本标准,电子级磷酸分为普通电子级(E1)和高纯电子级(E2)两种规格,主要技术指标涵盖磷酸含量、易氧化物、硝酸盐、硫酸盐、氯化物及多种金属离子的痕量控制,并需通过颗粒物检测以确保洁净度。该产品需在洁净环境下生产、包装和储运,避免二次污染,其质量直接影响芯片良率和器件性能。

2.2.5 氢氟酸

GB/T 31369—2015 太阳能电池用电子级氢氟酸。电子级氢氟酸(Solar Cell Grade)是一种专用

于光伏电池制造的高纯度化学品,其技术指标涵盖物理性状、化学成分及杂质限值,需满足特定电学与洁净度要求。该标准规定了其技术参数(如金属杂质含量、颗粒物控制)、检测方法(包括离子色谱等痕量分析技术)、质量判定规则,以及包装、储运的规范性要求,以确保其在晶硅太阳能电池制程(如表面清洗、蚀刻)中的适用性。该标准不涉及安全操作条款,使用方须另行制定安全管控措施。

2.2.6 GB/T 37007—2018 电子级三甲基镓

本标准规定了电子级三甲基镓的技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志、运输、贮存和安全,通过镓镁合金法、三氯化镓法、格式试剂法 3 种化学合成法制备并经精制纯化三甲基镓。

2.3 电子特气

电子特种气体被誉为电子工业的“血液”,电子特种气体是指在半导体、集成电路、显示面板、光伏及光电子等高科技制造领域中,用于薄膜沉积、刻蚀、掺杂、离子注入、外延生长及清洗等关键环节的高纯度气体或混合气体。其纯度通常需达到 5N 及以上,部分应用场景甚至要求 6N 或更高,以确保器件性能、集成度和良率。这类气体区别于传统工业气体,具有成分精准可控、杂质含量极低(如金属杂质 $\leq 1 \mu\text{g}/\text{kg}$)、稳定性高等特点。

表 7 我国主要代表性电子特气相关标准

Tab.7 Key standards for electronic grade gases

标准号	标准名称
GB/T 34972—2017	电子工业用气体中金属含量的测定 电感耦合等离子体质谱法
GB/T 34085—2017	电子工业用气体 三氟甲烷
GB/T 34091—2017	电子工业用气体 六氟乙烷
GB/T 33774—2017	电子工业用气体 丙烯
GB/T 15909—2017	电子工业用气体 硅烷
GB/T 32386—2015	电子工业用气体 六氟化钨
GB/T 31986—2015	电子工业用气体 八氟丙烷
GB/T 31987—2015	电子工业用气体 锆烷
GB/T 14602—2014	电子工业用气体 氯化氢
GB/T 18867—2014	电子工业用气体 六氟化硫
GB/T 18994—2014	电子工业用气体 高纯氯
GB/T 31058—2014	电子工业用气体 四氟化硅
GB/T 17874—2010	电子工业用气体 三氯化硼
GB/T 26249—2010	电子工业用气体 硒化氢
GB/T 26250—2010	电子工业用气体 砷化氢
GB/T 14600—2009	电子工业用气体 氧化亚氮
GB/T 14601—2009	电子工业用气体 氮

续表

标准号	标准名称
GB/T 14603—2009	电子工业用气体 三氟化硼
GB/T 14604—2009	电子工业用气体 氧
GB/T 14851—2009	电子工业用气体 磷化氢
GB/T 15909—2009	电子工业用气体 硅烷(SiH_4)
GB/T 16942—2009	电子工业用气体 氢
GB/T 16943—2009	电子工业用气体 氦
GB/T 16944—2009	电子工业用气体 氮
GB/T 38866—2020	电子工业用二氯硅烷
GB/T 38867—2020	电子工业用四氯化硅
GB/T 16942—2009	电子工业用气体 氢

氢纯度:氮、氧、一氧化碳、二氧化碳、总烃、水分等杂质;氮、一氧化碳、二氧化碳的测定:氦放电离子化检测器-气相色谱仪测定;含量的测定:GB/T 6285—2016(气体中微量氧的测定 电化学法);赫兹电池微量氧分析仪。

3 电子级溶剂标准物质研制及溯源性研究

本课题组主要研究领域为高纯试剂分离与检测、标准物质的制备、高纯试剂标准研制等。发明了多项制约高纯试剂发展的关键技术和短板技术,获授权专利 17 项,研制了 17 个高纯试剂标准物质,其中高纯试剂代表性授权专利包括一种质谱级乙腈的制备方法其装置(ZL201110333377.5)^[32],高纯乙腈及其制备方法和装置(ZL201410313653.5)^[33],一种农残级正己烷的纯化制备方法(ZL201010617923.3)^[34],一种农残级乙酸乙酯的制备方法(ZL20091016 052.X)^[35],一种农残级丙酮的制备方法(ZL200910163053.4)^[36]以及一种电子级乙腈的制备方法(ZL201610603274.9)^[37];开展了高纯溶剂痕量杂质关键技术研究,对其中的痕量结构相似组分杂质等系统方法研究,围绕实验用仪器分析用高纯水、色谱流动相、农残级试剂、质谱级试剂以及电子级试剂等科研用高纯试剂,负责制定了 GB/T 30301—2013《高纯试剂试验方法通则》,GB/T 32263—2015《高纯化合物 农残分析用化合物的测定 气相色谱-电子捕获检测器(ECD)法》,GB/T 33087—2016《仪器分析用高纯水规格及试验方法》,HG/T 4745—2014《化学试剂 高效液相色谱淋洗液 乙酸乙酯》,HG/T 4746—2014《农药残留检测用试剂 丙酮》,HG/T 4747—2014《农药残留检测用试剂 正己烷》等国家及行业标准;研制了系列高纯溶剂标准物质,如

GBW06115 丙酮纯度标准物质、GBW06113 乙腈纯度标准物质、GBW06116 正己烷纯度标准物质、GBW06112 乙醇纯度标准物质、GBW06111 甲醇纯度标准物质、GBW06114 乙酸乙酯纯度标准物质、GBW06121-131 系列高纯溶剂标准物质。

此外,还有 GBW02143 高纯硅纯度标准物质、GBW06343 超高纯氮气纯度标准物质、GBW06342 超高纯氩气纯度标准物质以及 GBW06341 超高纯氦气纯度标准物质等可应用于电子行业的高纯溶剂标准物质,保证量值溯源。

4 展望

芯片是未来所有产业的核心,电子化学品是芯片产业的“生长激素”,其质量是决定芯片性能、成品率及性能的关键因素。高质量标准互通是增强产业链供应链竞争力,协同产业链的技术支撑。电子化学品标准化建设是构建芯片产业自主可控供应链的重要内容。

5 结论

高纯溶剂在半导体产业中有着广泛应用,电子级溶剂广泛应用于微电子、光电子湿法工艺制程中,是显示面板、半导体、太阳能电池等设备制造中不可缺少的原料,选择合适的电子级溶剂对产品质量至关重要。

随着我国在高性能芯片、新一代信息技术等领域重大战略的实施,有机电子化学品作为支撑该领域发展的重要基础材料,迎来了发展的黄金期。有机湿电子化学品广泛用于超大规模集成电路、半导体及显示面板清洗、光刻胶配套试剂等领域。有机湿电子化学品种类众多并在半导体制程中存在大量复配应用,市场需求量巨大。目前我国企业仅能生产达到国际半导体产业协会(SEMI)G3 标准的产品,而发展 OLED 显示和高性能芯片所需的 G4(SEMI 分级)和 G5 产品,均被国外企业所垄断。为适应我国半导体产业的飞速发展,开发具有完全自主知识产权的湿电子化学品技术体系已迫在眉睫。

本文首先介绍电子化学品的应用及需求,在此基础上,介绍了国际电子化学品标准化概况以及电子化学品标准化概况,重点介绍电子级高纯溶剂标准物质研制以及量值溯源研究,为电子化学品国产化生产及其支撑我国半导体产业健康发

展、服务国家高质量发展新需求,服务国民经济主战场提供参考。

参考文献:

- [1] Wang Y, Wu E, Gao X H, Ding Q. *Procedia Environ. Sci.*, 2016, **31**:911-916.
- [2] Luryi S, Zaslavsky A. *Future Trends in Microelectronics: The Nano Millennium*. New York: IEEE Press/Wiley-Interscience, 2002.
- [3] Moore G E. *Electronics*, 1965, **38(9)**: 114-117.
- [4] Williams E D, Ayres R U, Heller M. *Environ. Sci. Technol.*, 2002, **36**:5 504-5 510.
- [5] Vannikov A V, Grishina A D. *Review Polymer Science U.S.S.R.*, 1990, **32**:1 725-1 758.
- [6] Lin J Q, Maul J, Holfeld N C. *Microelectron. Eng.*, 2008, **85**:922-924.
- [7] Lin C, Chen C. *Sens. Actuators, B*, 2008, **129**:531-537.
- [8] Marion C, Erwine P, Cécile J, Claire R, Nicolas P. *Microelectron. Eng.*, 25-30. DOI: 10.1016/j.mee.2018.03.001.
- [9] James S P, Roman G, Franklin C. *SPIE*, 2005, **5 992**:468-475.
- [10] Milton G, Anne R. *IEEE*, 2012. DOI: 10.1109/asmc.2012.6212924.
- [11] Akkaya A, Esmer L, Karaaslan T, Çetin H. *Mat. Sci. Semicon. Proc.*, 2014, **28**:27-134.
- [12] Kikuchi M, Bersin R. *Jpn. J. Appl. Phys.* 1992, **31(6S)**: 2 035.
- [13] Marion C. *Solid State Phenom.*, 2016, **255**:111-116.
- [14] Eunseok O, Na J, Lee S. *Appl. Surf. Sci.*, 2016, **376**: 34-42.
- [15] Alamo J A. *Nature*, 2011, **479**:317-323.
- [16] Heyns M, Tsai W. *MRS Bull.*, 2009, **34**:485-488.
- [17] Kim D, Krishnamohan T, Saraswat K C. *ECS Trans.*, 2008, **16**:47-55.
- [18] Fang S F, Adomi K, Iyer S, Morkoc H, Zabel H, Choi C, Otsuka N. *J. Appl. Phys.*, 1990, **68**:R31-R58.
- [19] Dekraker D, Pasker B, Butterbaugh J W, Christenson K K, Wagener T J. *Solid State Phenom.*, 2009, **145/146**: 277-280.
- [20] Christenson K K, Butterbaugh J W, Wagener T J, Lee P, Schwab B, Fussy M, Diedrick J. *Solid State Phenom.*, 2008, **134**:109-112.
- [21] Kashkoush I, Matthews R, Novak R, Brause E, Carrillo F, Rajaram B. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 1997, **477**: 173-178.
- [22] Song J I, Novak R, Kashkoush I, Boelen P. *Micro*, 2001,

- 19**:51-57.
- [23] Negri C C, Logofatu C, Ghita R V, Cotirlan C, Ungureanu F, Manea A S, Lazarescu M F. *J. Cryst. Growth*, 2008, **310**:1 576-1 582.
- [24] Sioncke S, Brunco D P, Meuris M, Uwamahoro O, Steenbergen J V, Vrancken E, Heyns M. *ECS Trans.*, 2008, **16**:451-460.
- [25] Massies J, Contour J P. *J. Appl. Phys.*, 1985, **58**:806-810.
- [26] Fujimura S, Konno J, Hikazutani K, Yano H. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1989, **1(28)**:2 130-2 136.
- [27] Claes M, Le Q T, Keldermans J, Kesters E, Lux M. *Solid State Phenom.*, 2008, **134**:325-328.
- [28] Claes M, Le Q T, Kesters E, Lux M, Urionabarrenetxea A, Vereecke P M, Carleer R, Adriaensens G. *ECS Trans.*, 2007, **11**:177-187.
- [29] Mu-rong C, Jian L C. *J. Hazard. Mater.*, 2009, **169**:153-157.
- [30] Gina L W, Christopher K O. *Microelectron. Eng.*, 2003, **65**:145-152.
- [31] Han T T, Li B, Wang Q P, Li Y X. *Microelectron. Eng.*, 2012, **96**:1-5.
- [32] CN201110333377.5. Quan C, Huang T, Li H M. 2012-05-02.
CN201110333377.5. 全灿, 黄挺, 李红梅. 2012-05-02.
- [33] CN201410313653.5. Quan C, Han Q, Du R. 2014-09-24.
CN201410313653.5. 全灿, 韩强, 杜然. 2014-09-24.
- [34] CN201010617923.3. Li H M, Quan C, Dai X H. 2014-06-18.
CN201010617923.3. 李红梅, 全灿, 戴新华. 2014-06-18.
- [35] CN200910163052.X. Huang T, Quan C, Dai X H. 2012-10-03.
CN200910163052.X. 黄挺, 全灿, 戴新华. 2012-10-03.
- [36] CN200910163053.4. Huang T, Quan C, Dai X H. 2012-12-12.
CN200910163053.4. 黄挺, 全灿, 戴新华. 2012-12-12.
- [37] CN201610603274.9. Quan C, Han Q, Du R. 2018-01-30.
CN201610603274.9. 全灿, 韩强, 杜然. 2018-01-30.