

—远品质，
永远相伴

知名品牌

一远静电科技

一远静电科技有限公司
YIYUAN ELECTROSTATIC TECHNOLOGY CO., LTD.

企业简介 COMPANY PROFILE

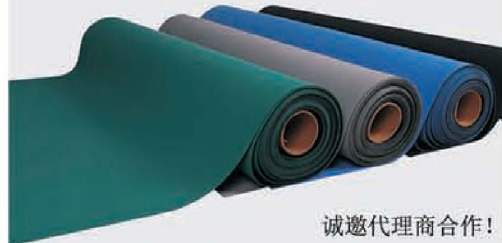
浙江一远静电科技有限公司

浙江一远静电科技有限公司创立于1995年，专业生产、销售防静电橡胶板(台垫、地垫)、防静电服装、防静电鞋等产品。公司以科技为依托，市场为导向，与国内外多家大专院校及知名企业合作，共建科技创新载体，获得多项发明成果。在国内率先实现产业化，为航天、国防、石油、医药、食品、电子、化工、煤矿等行业提供了技术和产品。产品已遍及全国各地，代替了国外进口，成为伟创力、捷普、华为、美的、中兴、贝因美等电子制造使用品牌，在业内具有良好的信誉，被国家科学技术委员会专家鉴定为“技术处于国内领先，质量达到国外同类产品先进水平”。“客户至上、追求卓越”。一远静电将不断为客户提供更多、更出色的防静电及净化系列产品。有您的需求才有我们的发展，有您的要求才有我们的提高，让一远静电的产品给您带来品质的保障。

防静电橡胶板 ANTI-STATIC RUBBER PLATE

环保防静电橡胶板，产品通过SGS RoHS 2.0检测

100%优质橡胶 耐高温300℃不变色
耐低温-70℃不分解 无异味
环保 无卤素 耐酸耐碱 耐油耐磨



诚邀代理商合作!



防静电服装 ANTI-STATIC CLOTHING

可按要求定制防静电工作服，可印LOGO、编号、反复清洗
做工精细，采用优质防静电面料，产品通过SGS检测



防静电PU/PVC鞋 ANTI-STATIC PU/PVC SHOES

防静电PU鞋、PVC鞋，款式多样，可按要求定制
白色防滑鞋底，轻便柔软、舒适，方便清洗，干燥快



Eyuan ESD Tech
浙江一远静电科技
专注防静电产品生产30年!

网 址: <http://www.zjyiyuan.com>
电 话: 0576-87071888 87071889 手机: 13661688095
传 真: 0576-87071613
E-mail: zj@zjyiyuan.com 邮编: 317312
地 址: 浙江省仙居县横溪高新技术开发区



公司二维码



店铺二维码

中国防静电

JOURNAL OF CHINA ESD CONTROL

| 防 | 静 | 电 | 权 | 威 | 传 | 媒 |

中国电子仪器行业协会防静电装备分会主办



3 | 2025
总第130期



浙江金华天开电子材料有限公司

40 余年

天开地材
专注PVC弹性地板
我们只求做精、做细、做稳

Leader Of Flooring Industry

中国弹性地板行业十大品牌



☎ 0579-82387919
☎ 13586979970
✉ tkesd@163.com
🌐 www.tkflor.com
📍 浙江省金华市婺城区涌雪街630号

国家高新技术企业
金华市开发区政府质量奖
中国防静电装备品牌企业
通过BOIMTCC产品认证
《防静电贴面板通用技术规范》主编单位



江苏华静地板科技有限公司
江苏丰树新材料科技股份有限公司

中国防静电装备品牌企业展示

江苏华静地板成立于1993年，专业研发、设计、生产、销售防静电PVC地面材料。工厂位于江苏常州，自有厂房车间8万余平米。以精立业，以质取胜，以优质的产品，完善的售后服务，与广大用户携手并进。



中国弹性地板生产基地

中国防静电装备品牌企业

- 中国防静电装备品牌企业
- 中国防静电装备分会会员理事单位
- 专业研发生产同透防静电地板30年
- 《防静电贴面板通用技术规范》参编单位
- 中国弹性地板行业十大品牌企业
- 中国防静电地板施工标准参编单位
- 江苏省专精特新中小企业
- 国家高新技术企业



地址：江苏省常州市横林镇西工业园
网址：www.floor.cn

手机：139 0150 3201
电话：0519-88783211



全球销量领先的 架空网络地板行业制造商

内装新材料一站式服务平台



用户至上



低碳环保



智能高效

THE WORLD LEADER IN SALES MANUFACTURER OF
OVERHEAD NETWORK FLOORING INDUSTRY

1997 年创刊

2025 年第 3 期 (总第 130 期)

出版日期 2025 年 9 月 30 日

主管部门: 中国电子仪器行业协会

主办单位: 中国电子仪器行业协会
防静电装备分会

协办单位: 中国国际贸易促进委员会
电子信息行业分会

编辑出版: 《中国防静电》编辑部

名誉主任: 孙延林 项道才

特邀顾问: 孙可平 姜冠雄

主 任: 沙长涛

副 主 任: 董珂铭 吴秀婷

编 委 会: 孙可平 孙延林 王大千

欧阳吉庭 刘全桢 王晓东

李 庆 李 杰 王荣刚

胡 树 董珂铭 吴秀婷

主 编: 董珂铭

编 辑: 吴秀婷 李 彬 孙 冰

美 编: 王洁莲 李 彬

编辑部地址: 北京市东城区安定门东大街 28 号雍和大厦 B 座 502 室

邮政编码: 100040

电 话: (010) 68647410

传 真: (010) 68647410

E-mail: zgfdjtdgx@126.com

国际标准刊号: ISSN 2220-8186

刊 期: 季刊

出刊日期: 每季度末

目 录

CONTENTS

协会动态

- 15 协会快讯
- 16 关注 2025 智造业静电放电 (ESD) 防护技术
高峰论坛在第九届 EeIE 智博会期间成功举办
- 18 首批发布 2025 年中国防静电产品质量测试
目录(首批)在深圳智博会期间成功发布
- 21 协会专家深入企

学术探讨

- 22 防静电技术发展方向探讨 孙延林
- 25 静电放电过程中电荷转移量测试技术探讨
李学文 孙可平
- 29 绝缘电阻测试仪不确定度评定
张涛 胡刚 张文斌

技术应用

- 31 半导体制造工艺过程中的等离子体清洗技术
孙玉荣 王荣刚 成玉磊
- 42 DBD 等离子体清洗技术研究
孙玉荣 王荣刚 成玉磊 等

标准解读

- 47 GB/T 44787-2024《静电控制参数实时监控系统
通用规范》标准解读与应用浅析
董方成 胡子俊 吴嘉鹏 等

会员之家

- 54 新会员单位介绍
- 55 会员单位介绍

专业静电解决方案品牌

专注静电控制及静电监测、十五年品牌厂家

企业简介

QEEPO 成立于2010年5月，是集静电控制和监测设备的研发、设计、生产、销售及服务于一体的科技型企业。

产品广泛应用于半导体、光电、新能源、新材料、医疗医药、航天航空等领域。我们致力于有效改进制造工艺，解决制造过程中的静电问题，提供有竞争力的解决方案和服务，提升客户满意度，持续为客户创造价值。



电子行业



工业行业



鹏普官网



微信公众号



微信视频号



抖音号

电话: 021-67651108

邮箱: sales@qeepe.cn

公司官网: www.qeepe.cn

公司地址: 上海市松江区龙高路160弄1号楼



深圳市闪电实业有限公司
广东卡普诺静电科技有限公司

闪电除静电方案解决商

■ 专注静电研发生产 经验丰富值得信赖 ■

公司产品通过

CE/ROHS 认证

ISO9001 认证

第三方检测认可

主要研发生产：

防静电离子风机、离子风棒、
离子风嘴、离子风蛇、离子发
生器、静电测试仪等防静电产
品。

企业简介：

广东卡普诺静电科技有限公司是
一家高新技术型企业，卡普诺
KAPOOR 品牌成立于 2014 年，集
研发、生产、销售为一体；公司
工厂主要设立在东莞，深圳与江
西萍乡均设有公司为客户服务。
卡普诺始终坚持以“科技创新，
诚实守信，客户至上”为企业宗
旨与经营理念，力求做到精益求精。



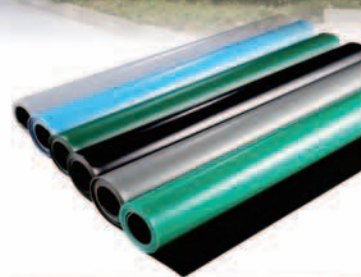
联系方式：158-1729-8698（刘先生） 网址：www.kapoor.cn 邮箱：sanesd@foxmail.com
东莞地址：东莞市厚街镇古坑运河西路5号7楼 江西地址：江西省萍乡市莲花县荷塘乡



湖北天力奇新材料股份有限公司
Hubei Tianliqi New Materials Co., Ltd.



湖北天力奇新材料股份有限公司是专业生产橡胶制品的大型民营企业，公司为汽车、电子、军工、民爆、航空航天行业提供优质的产品及服务，主要用户有东风汽车集团、美国康明斯公司、武昌船舶重工集团有限公司、厦门船舶重工股份有限公司、武汉华星光电技术有限公司等。公司致力于生产研究导、防静电橡胶已有数十年，积累了丰富的导、防静电橡胶板使用、研发的经验。公司获得 IATF16949、ISO14001、ISO45001 证书，并取得中国船级社工厂认可证书等系列认证，是中国防静电装备品牌企业，主营产品有导、防静电橡胶板及其特殊场景（耐高温、耐酸碱、无卤素、无硫、阻燃、防滑）防静电橡胶板。



地址：湖北省襄阳市高新技术开发区汽车工业园拓新路一号
电话：0710-3223872 15071225370 13339829226



公司简介

COMPANY PROFILE

双奇地板 双倍放心

江苏双奇地板有限公司是一家集高新技术产品研发、生产、销售、施工为一体的专业性地板企业。公司始创于1985年，位于中国最具活力的长江三角洲的腹地、全球知名的中国地板之都—江苏常州，占地面积11万平方米。

公司主要生产和销售全钢架空活动地板、硫酸钙架空地板、强化木地板、多层实木地板。公司拥有一流的全自动德国豪迈、威力等地板先进流水线设备。

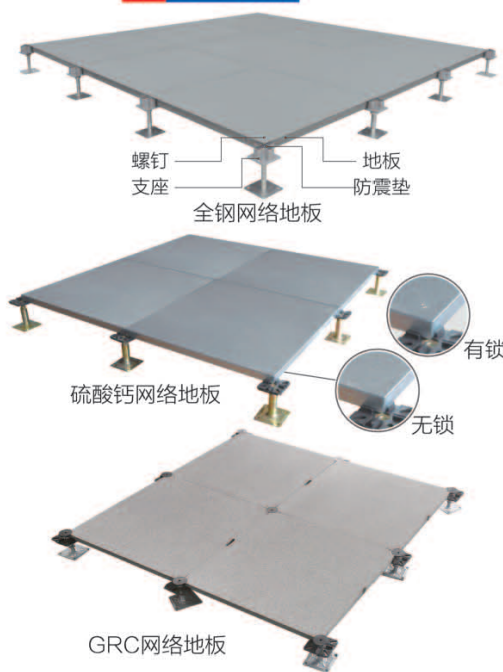
公司拥有进出口自主权、自主研发中心，对产品的设计和工艺进行不断地开发和创新。与国内外多个企业形成战略合作伙伴，具有年产300万平方米架空地板系列、1000万平方米强化地板系列等生产能力。拥有高效严谨的管理体系，严格的质量监控和完善的售后服务体系。

公司专业化的生产、高品质的管理使企业通过ISO9001质量管理体系认证、ISO14001环境管理体系认证、ISO45001职业健康管理体系认证、商品售后服务认证及LEED认证、欧洲CE产品认证等，获得行业协会的生产、销售、施工资格认定，产品质量经权威部门检测完全满足国标标准。

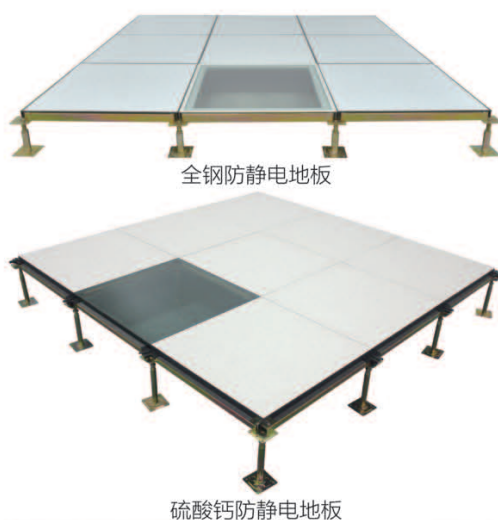
公司具备建筑装修装饰工程专业承包贰级资质、建筑施工安全生产许可证、获取中国防静电装备品牌企业、中国防静电机房工程专家工作站驻站企业、中国计算机用户协会机房设备应用分会理事单位、中国电子仪器行业协会防静电装备分会理事单位，并连续4年荣获中国数据中心颁发的“国产十佳地坪地面奖”、“专家推荐十佳地坪地面品牌”等殊荣。

公司服务宗旨：高标准的质量、国际化的管理、人性化的服务、诚信永续的经营。

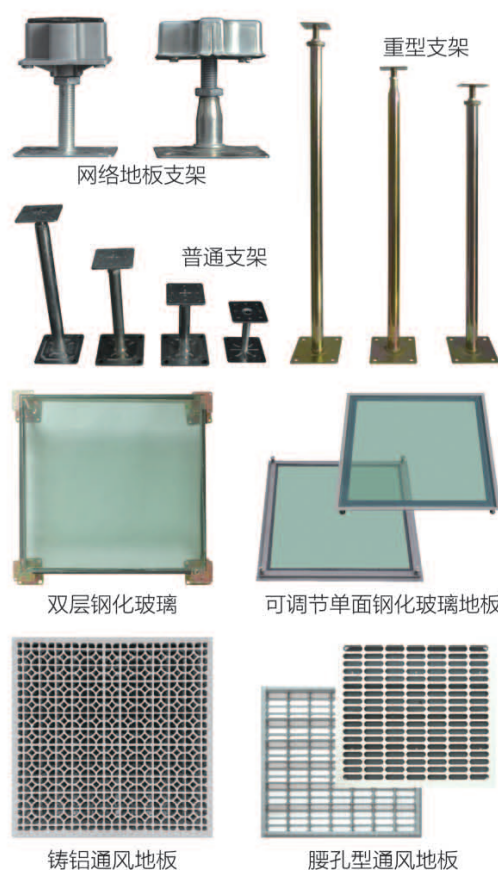
01 网络地板



02 防静电地板



03 地板配件



让您的生活与办公与众不同！

网址: <http://www.sqfloor.cn>

电话: 0519-88501571

传真: 0519-88507818

邮箱: ssqi@ssqfloor.com 邮编: 213013

地址: 江苏省常州市横林镇崔桥东环南路5号



双奇地板官网



常州市华一地板股份有限公司

Changzhou Huayi Floor CO., LTD

企业简介：常州市华一地板股份有限公司（原常州市华一防静电活动地板有限公司）成立于2001年，公司总投资6亿元，厂区面积83000平米，是一家专注于架空地板领域的创新型企业，致力于为客户提供高品质，低碳，环保，智能，舒适，高性能架空地板解决方案。

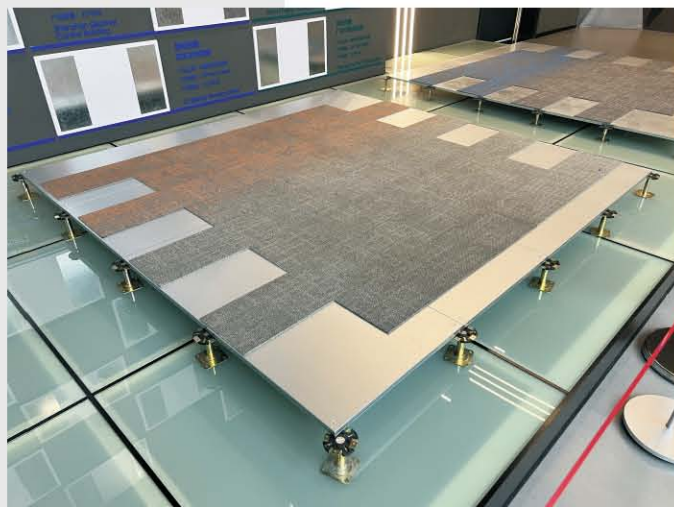
主要产品有：防静电全钢地板，铝合金地板，硫酸钙地板，GRC地板，OA网络地板，无机质地板。

公司引进德国，意大利，韩国，日本先进的技术，严格遵循国际，国内标准进行生产，确保每一片架空地板都具备卓越的品质和可靠的稳定性，架空地板产品涵盖多种类型，以满足客户在甲级商务楼，数据中心，机房，办公室，洁净室等众多领域不同场景下的需求。

我们的服务贯穿售前，售中，售后全过程，公司有200人以上的施工团队确保安装质量与速度，公司管理运用人工智改数管理，企业云端管理，高端的品质成为国内外多家知名企业架空地板的战略首选合作伙伴，有自营进出口证，并布局多家海外市场，成为国家高新技术企业，纳税大户与国家标准技术起草单位。



常州市华一地板股份有限公司



📍 江苏省常州市经开区横林镇夏家路90号

☎ 电话: 0519- 88500988 88506060 13901501111 13906121111

✉ 邮箱: huayi@czhuayi.com

🌐 网址: www.czhuayi.com





河北科华防静电地板制造有限公司

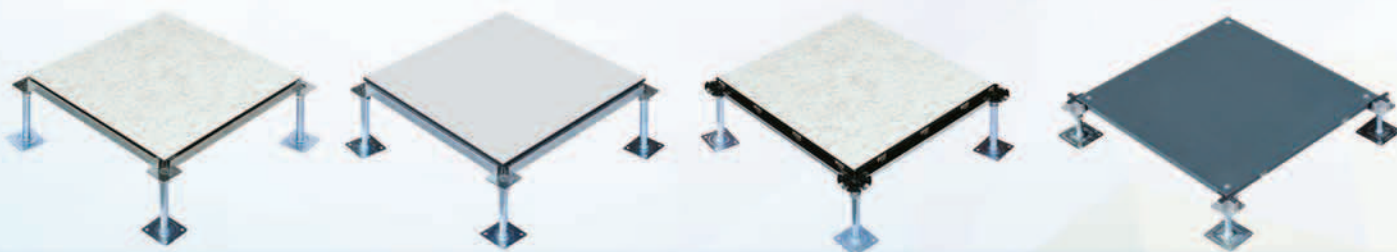
HEBEI KEHUA PREVENT STATIC FLOOR MAKING CO.,LTD

企业简介

河北科华防静电地板制造有限公司是一家集研发、制造、服务于一体的综合型企业，八十年代初就着手研制生产防静电架空活动地板，三十几年来坚持以诚信服务、质量第一求生存，以严格管理、开拓创新求发展，以务实创新的态度迎得了广大用户的一致好评。使“科华”成为了防静电活动地板行业值得信赖的品牌供应商。

科华公司本着“质量一流，服务至上”的宗旨，以“诚信经营，精益求精”的理念，真诚期待着与您合作！

- ★ 第一家生产了国内高档HDM600--ZD无边框高性能复合地板
- ★ 第一家生产了国内三防型防静电地板：防静电玻化砖地板
- ★ 中国电子仪器行业协会防静电装备分会（理事单位）
- ★ 1998年被电子工业部抗静电基础装备部评定为国家质量等级证书“一等品”
- ★ 2000年获得北京恩格威ISO9001：2000质量管理体系认证
- ★ 2003年被中国建筑材料流通协会评定为：《中国质量供货合格放心安全无毒害环保建材产品》
- ★ 2003年被信息产业部抗静电基础装备部评定为国家首创品牌
- ★ 2003年获得《中国质量供货合格放心、安全无毒害环保绿色建材产品》
- ★ 2009年获得欧洲CE认证
- ★ 中国防静电装备品牌企业





志在为您营造 高教、安全、绿色、智能化的办公环境

“华通”高架地板在世界，在中国，被应用于数以万计的建筑工程中，产品具有结实耐用、防火等级高、耐磨、防静电、可回收再利用等诸多优异特性，广泛应用于写字楼、院校、医院、信息尖端的无尘车间等场所，已逐步成为业主、建筑师、开发商的首选品牌。华通每年投入大量的人力和财力进行创新研发，以追求更完美的产品、更卓越的服务。





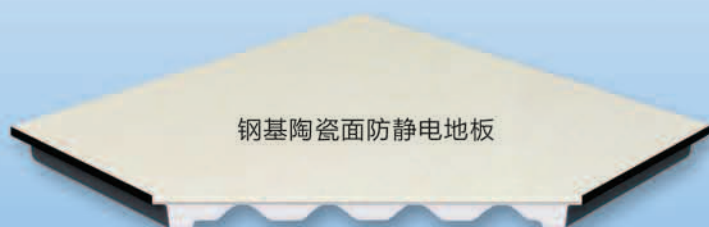
莱州市华福机房材料有限公司 JINDAO FLOORS, INC. HUAFU FACTORY

地址: 山东莱州经济开发区临港产业园(原三山岛街道西由)

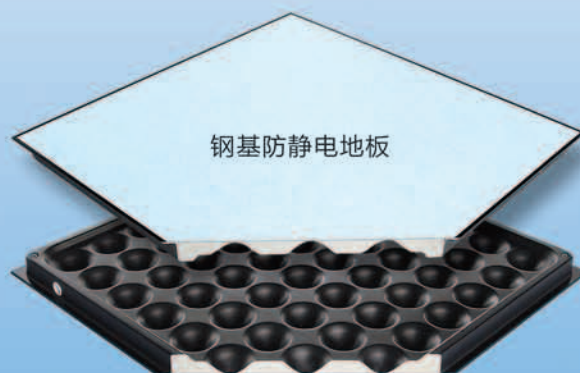
电话: 0535-2742126 2742188

<http://www.jindaoofloors.cn>

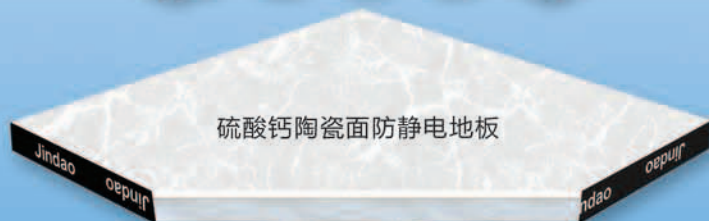
莱州市华福机房材料有限公司是以高架活动地板的设计、制造、施工、销售、安装为主的专业公司, 是全国本行业率先通过 ISO9001 质量体系认证的企业, 也是中国电子仪器行业协会防静电装备分会的理事单位。本公司占地面积 6 万平方米, 固定资产 5000 余万元, 拥有智能网络地板、钢基防静电地板、硫酸钙地板、木地板和地板支架五条生产线, 经过坚持不懈的努力, “金岛”品牌在国内外市场享有很高的声誉, 国内市场遍布祖国各地, 海外市场出口到东西欧、南北美、中东、东南亚、南亚、非洲等世界各地。



钢基陶瓷面防静电地板



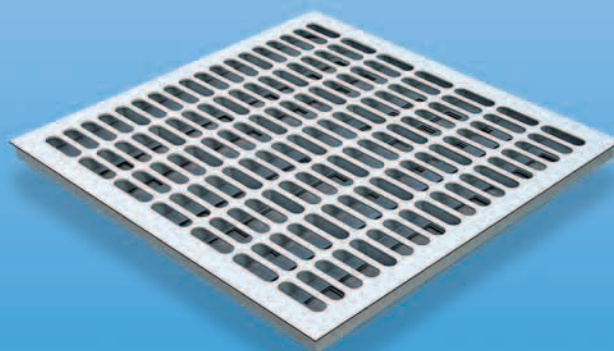
钢基防静电地板



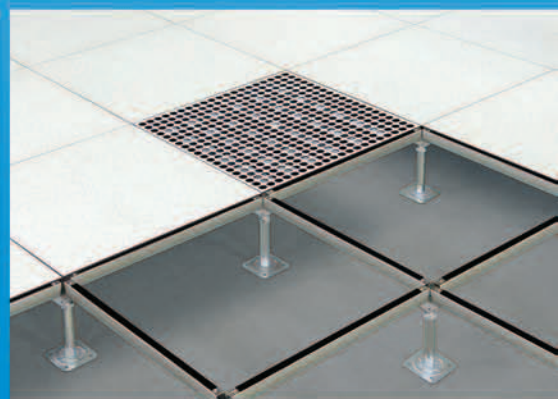
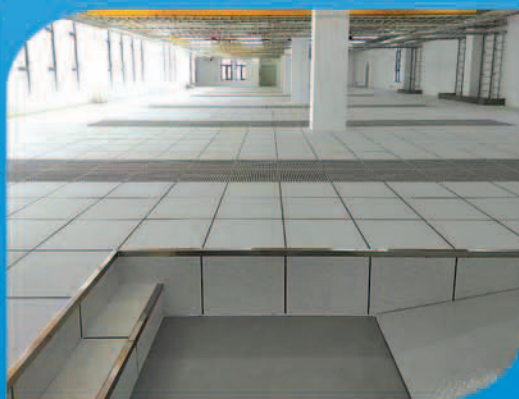
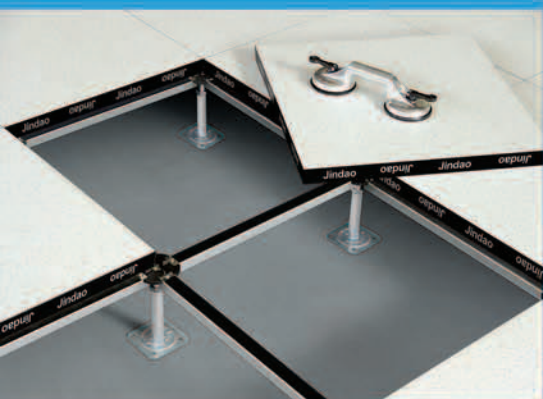
硫酸钙陶瓷面防静电地板



硫酸钙防静电地板



通风地板



可以按照中国 GB/T36340、欧盟 EN12825、美国 Cisca、英国 MOB 标准组织生产, 年供货能力 100 万平方米, 是目前国内规模最大的活动地板生产商之一。

POUSTO®

防静电在线监视仪

设备状态 阻抗

手环

防静电垫

No D

POUSTO®

专业·定制·美观

中国防静电装备品牌企业展示

POUST ESD Overall Project

防静电系统厂家

专业厂家 追求品质



上海佰斯特电子工程有限公司成立于2002年，一直致力于静电防护技术及应用的研究，是从事防静电装备生产、销售、施工为一体的专业厂家！



佰斯特生产的防静电装备产品能让用户有效避免研发、生产过程中产生的静电给敏感器件带来的损伤，同时给用户带来舒适、安全、可靠的生产环境。



佰斯特系列产品性能具有人性化、智能化、柔性化等突出优势，是国内各大航空航天、军工、通讯制造、汽车、高校的首选制造商。



通过了ISO9001质量体系认证，ISO 140001环境体系认证，OHSAS 18001职业健康安全体系认证，佰斯特产品符合国军标GJB3007A-2009，SEFA 8M-2016实验室等级金属柜检测标准，航天电子产品静电防护技术要求GB T 32304-2015，SJT10694-2006，欧盟IEC61340防静电标准及美标ANSI-ESD-S20。



佰斯特在北京、天津、沈阳、西安、成都、重庆、南京、合肥、郑州、武汉、长沙、深圳等城市均设有办事处，竭诚为您服务！



—— 专业生产厂家 进口石墨烯技术 ESD产品首选制造商 ——

电话：021-61200133、13816559034

公司网址：www.pousto.net.cn

办公地址：上海市凯旋路3500号1幢 21楼

工厂地址：上海市青浦工业园新金路8号



YANGSEN

阳森企业集团

(1997年始创于上海)

防静电地坪

简单、安全、快速的翻新重建！

广泛适用于电子行业多种材质基面地坪的快速翻新！

告别反复打蜡翻新，耗时耗成本的维护保养方式！

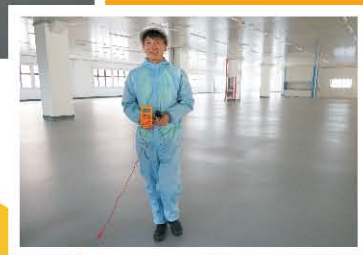
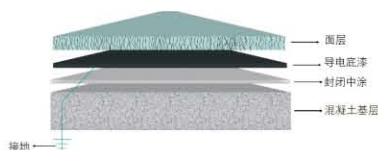
YANGSEN®

有它不折腾：Yanfloor®TP-36ESD

系统特点：

- ▶ 优异的防静电性能，满足IEC61340-5-1 (2016)
- ▶ 有效解决防静电自流平电阻和BVG超标准难题
- ▶ 与多种材质基面具有良好的附着力
- ▶ 硬度高、耐磨性好

树脂基防静电整体地坪体系构成



● 超耐磨防静电地坪系统

优异的耐刻划耐磨耗系统，满足BVG<100V的要求，耐多种腐蚀性化学品，用于运输频繁的防静电新旧地面面层

● 聚氨酯砂浆防静电自流平地坪系统

耐高温、耐重载、耐大多数有机酸的腐蚀，设计用于重载区域防静电地坪涂装

● 防静电PVC地板罩面涂层

与PVC塑胶地板具有良好的附着力，易于抛光，提高防静电PVC地板的耐沾污性能和耐磨性能，导电性能和人体起电电压满足IEC-61340-5-1 (2016)的要求，性能持久稳定；实测BVG为5V；可用于新旧PVC地板

● ECC防静电自流平地坪系统

ECC防静电自流平与耐刻划防静电面层完美结合，满足IEC61340-5-1 (2016)的要求和A级防火的要求

● 净化区域防静电低释放无溶剂环氧自流平地坪系统

通过国际工业洁净室联盟德国实验室“CSM测试评价的自流平地坪材料系统，同时满足IEC-61340-5-1电阻不大于 $1 \times 10^9 \Omega$ 和BVG<100V等要求



上海阳森精细化工有限公司
地址：上海市奉贤区会汇工业路798号
电话：021-37561656 传真：021-37561116



江苏美亚静电防护用品有限公司

JIANGSU MEIYA STATIC PROTECTION SUPPLIES CO.,LTD

公司简介

为适应防静电贴面板导电性能的需求，与知名大学合作开发研究《纳米抗静电贴面板》，其稳定、永久、良好的电性能，解决了长期困扰业内防静电贴面板电性能差、不稳定的难题。“美亚”牌防静电贴面板，以其电性能稳定、无色差、不开裂、低甲醛释放量、表面耐磨、耐污染等性能，已获得国内外防静电装备用户的广泛采用，产品远销东南亚及欧美五十多个国家和地区，广泛应用于智能办公楼、图书馆、计算机房、洁净厂房、数据中心及其它要求防静电的场地。

美亚公司坚持以“创新、稳定、发展、共赢”为理念，不断推陈出新，引进专业技术人才，经过二十多年的努力，美亚品牌正以其优异的质量，诚挚的服务赢得市场的认可，成为国内同行中的佼佼者。

资质荣誉证书



防静电贴面板



2013-1



2010-9



2020



2010-4



2010-8



江苏美亚新型饰材有限公司

地址：江苏省丹阳市皇塘镇常溧东路

电话 (TEL): 13914586383

网址 (Web): www.jsnewsun.cn

邮编(P.C.): 212327

邮箱(E-mail): 583081336@qq.com

山东电盾科技股份有限公司



电盾股份创立于2011年，先后获批院士工作站、山东省防静电陶瓷工程技术研究中心、山东省防静电功能陶瓷工程研究中心、山东省企业技术中心、一企一技术研发中心、高新技术企业、山东名牌、山东省制造业单项冠军。主导及参与起草国家标准16项，拥有各类专利41项，荣获中国专利优秀奖。

主要产品有：防静电陶瓷砖、新型OA网络地板、全品饰面架空地板、防静电活动地板、不发火防静电地坪，抗菌陶瓷瓷板；

自成立以来，电盾股份始终坚持“科技引领、节能环保、安全健康”的创新发展理念，秉持“诚信、创新、奉献、共赢”的价值观，积极促进科技成果转化，推动产业可持续、高质量发展。

目前部分代表工程有：

国防工程：921工程（神州7号、8号航天飞船控制装配中心）、中国国家第四卫星发射基地（文昌卫星发射基地）、中国航空火箭技术研究仿真楼、西安国家民用航天基地7171厂、中国空间技术研究院、中国人民解放军海军航母基地（青岛、葫芦岛）；

移动通讯：湖南移动怀化公司、遵义联通机房、中国人民解放军57通信中心、河南省濮阳移动公司、佛山联通公司；

化工制药：华北制药、博腾药业、康龙化成、合全药业、四川青木制药；

石油石化：印尼国家石油公司、青岛炼化、齐鲁石化等；

微电子：中国电子科技集团第五十四研究所、第十三所、第二十二所、中船重工七一六所、海康威视、海信研发中心、西安天宏硅业；

电力系统：国家电网济南分公司、苏州供电局、渭南电厂、赤峰电力实验室、郑州电网中控机房、福建福州电力大厦、广东惠州稔山变电站、四川德阳变电站；

教育：解放军信息工程大学、北京林业大学、淄博中学、淄博实验中学、河南省濮阳市第七中学等；

矿业：枣庄荣信焦化、呼市金矿、济宁薛城煤矿等；

金融：浦发银行、建设银行、淄博农信等；

医疗卫生：四川省绵竹市疾病预防控制中心；

公共安全：中国驻几内亚、苏丹、喀麦隆、加蓬大使馆，中共中央机要局、淄博公安局、大连应急救援指挥中心；

交通运输：肯尼亚蒙内铁路、青岛地铁、深圳地铁、广州地铁、牡丹江高铁、沈阳高铁、长春高铁、济南机场。



东莞市科园防静电设备有限公司



王春元

137 9052 8816

东莞市厚街镇华伟路6号智和兴智能产业园3栋6楼



kapper卡帕尔

东莞市科园防静电设备有限公司一直致力于除静电产品研发，是国内先进除静电设备制造商，集研发、生产、销售、创新、服务为一体的综合性防静电国家级高新技术企业。产品均已通过ISO、CE、ROHS及第三方高品检测技术服务机构的认可，获得外观、实用新型、发明100多项科研专利，先后荣获“民营科技企业”、“中国防静电行业理事长单位”、“清华大学东莞博商最美企业”、“中国创新创业大赛珠江天使杯企业”、“高新入库企业”、“国家级高新技术企业”、“东莞科技创新先进单位”、“广东省科技企业”、“科技型中小企业”、“防静电行业标准参编单位”“中国防静电装备品牌企业”等多项荣誉称号。

科园在除静电设备领域拥有资源、人才、网络、规模、经验的巨大优势和影响力，现已成功由产品机械化转向产品智能化，工业4.0静电在线监控！将引领静电设备行业进入智能化、数据化、网络化同时，也将“kapper卡帕尔”打造成中国智造对外交流的新名片，让全世界从全新的视角重新认识中国智造，认识“kapper卡帕尔”，向全球用户彰显中国品牌力量。

卡帕尔荣誉



部分合作客户

ZTE中兴

oppo

Midea
美的

BYD

KONKA康佳

vivo
Hi-Fi & Smart

Skyworth
创维

TCL

DJN 帝晶光电

京东方
BOE

FOXCONN
富士康

步步高

卡帕尔静电消除器



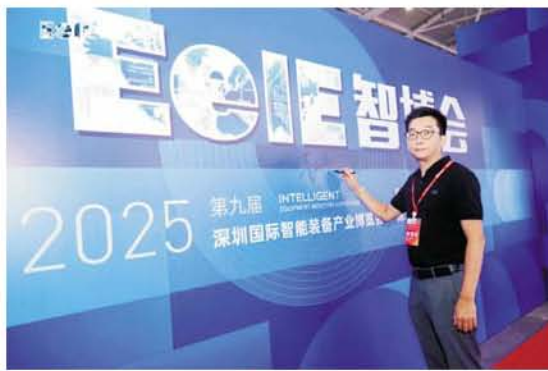
协会快讯

第九届深圳国际智能装备产业博览会暨第十二届深圳国际电子装备产业博览会于2025年8月27日上午在深圳国际会展中心隆重开幕,中国制造2025由“制造”变“智造”已经成为中国工业转型升级的大方向,而自动化作为智能化变革的基石无疑是重中之重。党的十九大报告也明确指出,智能制造是建设制造强国、加快发展先进制造业的主攻方向,深圳作为我国制造业发展的高地,智能制造俨然已成为全球科技创新中心建设的核心支柱。深圳智能工厂展是国内针对智能工厂的专业展,展品涵盖工业自动化、工业机器人、物联网、人工智能、工厂物流智能传动等方面的相关产品。中国电子仪器行业协会防静电装备分会(以下简称“协会”)应邀参加本次展会,协会理事长助理董



珂铭先生应邀出席大会开幕式。

本届“智博会”延续上届的特色设置,开设“防静电装备”特别展区,协会会员单位共计20家企业参加展会并设置展台,展会现场人气火爆,采购热情激昂,现场论坛、发布会等活动,得到了业内的一致认可与赞誉。



关注 2025 制造业静电放电 (ESD) 防护技术 高峰论坛在第九届 EeIE 智博会期间成功举办



8月27日,以“装备强基 智造未来”为主题的第九届深圳国际智能装备产业博览会暨第十二届深圳国际电子装备产业博览会(以下简称“智博会”)在深圳国际会展中心盛大开幕,汇聚全球智能装备与电子装备领域的顶尖企业、专家学者及行业精英,共同探索智能制造的未来发展方向,推动产业链上下游协同创新,构建智能建造新生态。



其中由中国电子仪器行业协会防静电装备分会(以下简称“协会”)主办,东莞市科园静电科技有限公司、浙江一远静电科技有限公司、上海安平静电科技有限公司、安徽辅朗光学材料有限公司、上海鹏普静电科技有限公司、深圳亨达洋静电技术有限公司、广州赛西标准检测研究院有限公司联合承办,全国静电标准化技术委员会支持的2025 智造业静电放电(ESD)防护技术高峰论坛同期举行。

本次高峰论坛以“标准引领·技术赋能”为主题,聚焦三大核心议题,标准升级:解读国家静电标准最新修订方向,为行业发展定航掌舵掌舵;技术革新:分享静电防护智能监测、材料优化等前沿方案;体系重构:探讨防静电质量管理与智能制造的深度融合路径。共同探讨智造业静电防护的破局之道。

论坛特别邀请到了“智博会”主办方深圳市电子装备产业协会会长施浩先生、中国电子仪器行业协会防静电装备分会理事长助理董珂铭先生。两位分别出席本次论坛并对论坛进行了精彩的致辞。

本次论坛的重要环节:首次发布《中国防静电产品质量测试目录(2025 首批)》,这份“产品质量资源库”将助力企业精准选型,筑牢工业安全、质量可靠的防线。

同时由董珂铭、施浩对首批通过测试的部分企业颁发了证书。

在论坛报告环节:来自中国电子技术标



准化研究院工程师侯鹏飞、中科飞龙(深圳)科技有限公司田志武经理、深圳亨达洋静电技术有限公司总经理刘清松、安徽辅朗光学新材料有限公司的产品经理廖彩云、上海鹏普静电科技有限公司总经理咎(zan)鹏分别以国家静电防护标准赋能智造业、智能制造业中静电实时监控技术与应用、先进智造业静电防护包装技术新要求、光学功能性防护材料在智能制造中的应用、半导体行业中的静电控制:高精度离子化静电解决方案的实践与创新做专题交流,共绘防静电技术新图景。

首批发布 2025 年中国防静电产品质量测试目录(首批)在深圳智博会期间成功发布

8月27日,由中国电子仪器行业协会防静电装备分会(以下简称“协会”)主办,东莞市科园静电科技有限公司、浙江一远静电科技有限公司、上海安平静电科技有限公司、安徽辅朗光学材料有限公司、上海鹏普静电科技有限公司、深圳亨达洋静电技术有限公司、广州赛西标准检测研究院有限公司联合承办,全国静电标准化技术委员会支持的2025 智造业静电放电(ESD)防护技术高峰论坛在深圳成功举办,本次论坛由东莞市科园静电科技有限公司的陈春年主持,政产学研用各个行业领域的专家、代表近100人现场参与。

防静电技术已成为保障电子工业安全运行的“隐形卫士”。而今天,我们静电行业发展的一个重要里程碑——中国电子仪器行

业协会防静电装备分会联合全国静电标准化技术委员会、广州赛西标准检测研究院有限公司等权威机构,首次发布2025年首批《中国防静电产品质量测试目录(2025 首批)》企业名单及产品详见附件。

本次目录的发布不仅是静电防护领域的“产品质量资源库”,更是助力企业精准选型,筑牢工业安全、质量可靠的防线。

由董珂铭、施浩对首批通过测试的部分企业颁发了证书。

后续中国电子仪器行业协会防静电装备分会、全国静电标准化技术委员会继续联合广州赛西标准检测研究院有限公司持续开展静电防护产品目录测试,不断壮大防静电产品质量卓越品牌,为行业发展、品牌培育提供不竭动力!



附:《中国防静电产品质量测试目录(2025 首批)》目录

序号	产品名称	规格/型号	委托单位
1	纳米电晶	20 微米	浙江圣威装饰科技有限公司
2	三正丁基甲铵双氟磺酰亚胺盐	CF1121	江苏国泰超威新材料有限公司
3	三正丁基甲铵双三氟甲基磺酰亚胺盐	CF1107	江苏国泰超威新材料有限公司
4	防静电台垫	KJ-3S 2mm	江苏加富新材料科技有限公司
5	防静电橡胶地板	加富牌 3.5mm	江苏加富新材料科技有限公司
6	防静电抗疲劳地垫	加富牌 15mm	江苏加富新材料科技有限公司
7	防静电 PC 板	5 × 300 × 300(mm)	安徽辅朗光学材料有限公司
8	防静电陶瓷砖	/	山东电盾科技股份有限公司
9	金属不发火防静电耐磨材料	JC-NFJ	烟台广煜通建筑安装工程有限公司
10	防静电鞋	001	苏州同花盛鞋业有限公司
11	防静电收集架	3W-9805301	浙江三威防静电装备有限公司
12	防静电桌面板(台面板)	300 × 300 × 25(mm)	抑斯递(上海)净化科技有限公司
13	防静电 PVC 地板	600 × 600 × 3(mm)	江苏华静地板科技有限公司
14	防静电手指套	M	深圳市兴旺劳保净化有限公司
15	导静电添加剂	ZC-1	北京安信三通防静电工程技术有限公司
16	导静电添加剂	ZC-1-B	北京安信三通防静电工程技术有限公司
17	防静电橡胶板	S18	浙江一远静电科技有限公司
18	TB-53 防静电工具推车	1136 × 580 × 815(mm)	上海佰斯特电子工程有限公司
19	TB-51 防静电工具推车	850 × 500 × 840(mm)	上海佰斯特电子工程有限公司
20	TB-21E 型 防静电承重型推车	800 × 600 × 750(mm)	上海佰斯特电子工程有限公司
21	脉冲直流离子风机	AP-DJ2811	上海安平静电科技有限公司
22	空间离子棒	AP-DB1233	上海安平静电科技有限公司
23	智能式悬挂式四头离子风机	KP104C	东莞市科园防静电设备有限公司

序号	产品名称	规格/型号	委托单位
24	可调红色离子棒	KP507A	东莞市科园防静电设备有限公司
25	防静电架空地板	型号: HDG.B.D 规格: 600*600*35mm	常州华钧防静电地板有限公司
26	防静电鞋	2026 黑色 材质: SPU	深圳市好亚通防护用品有限公司
27	防静电鞋	2129 蓝色 材质: SPU	深圳市好亚通防护用品有限公司
28	防静电服	CH4001	深圳市灿普静电科技有限公司
29	防静电刷	CH21	深圳市灿普静电科技有限公司
30	防静电手腕带	CH106	深圳市灿普静电科技有限公司
31	防静电椅	CH401.368N	深圳市灿普静电科技有限公司
32	蓝色 0.5 网格斜拉防静电三连体	防静电连体服, 0.5 网格/ 蓝色/斜拉链/不含鞋/M 码	深圳市鑫唯科防静电科技有限公司
33	蓝色条纹防静电三连体	蓝色/条纹/三连体/ 不含鞋/M 码	深圳市鑫唯科防静电科技有限公司
34	防静电钢包头高筒鞋	PU 蓝 0.5 网钢包头高筒鞋, PU/0.5 网格/39 码	深圳市鑫唯科防静电科技有限公司
35	离子风机	QP-FA01	上海鹏普静电科技有限公司
36	防静电粉末涂料	PP-RAL7021、7035、 7044、9003、9016 PP-RAL1001、2001、 3001、5001、5019	黄山佳美奇科技有限公司
37	防静电椅	F121621E	深圳市力强工业用椅技术有限公司
38	防静电传送平带	GT03AN(1.0mm)	东莞市东信新材料制带科技有限公司
39	防静电传送平带	SGT06(1.5mm)	东莞市东信新材料制带科技有限公司
40	导静电传送平带	RER20/20EF-HC(2.0mm)	东莞市东信新材料制带科技有限公司
41	导静电传送平带	TG60/20DB-HC(2.0mm)	东莞市东信新材料制带科技有限公司
42	导静电传送平带	FPP10/18-HC(1.8mm)	东莞市东信新材料制带科技有限公司
备注: 以企业申请测评时间顺序排序。			

协会专家深入企业帮助查找消除 雷电静电安全隐患

今年6月是第24个全国“安全生产月”，主题是“人人讲安全、个个会应急——查找身边安全隐患”。正值夏季来临之季，为贯彻执行国务院安委会文件要求，查找身边雷电、静电安全隐患，中国电子仪器行业协会静电装备分会会员单位：杭州电盾装饰材料有限公司防静电不发火防爆领域专家唐明华以及江苏省防雷协会有关专家，应邀于6月11日赴南京江北新区新材料科技园危化品车停车场，进行雷电和静电安全隐患排查。



唐明华等深入现场，对危化品车停车场的室外场地防雷、防静电设施和设备运行情况以及办公楼等建筑物的防雷、防静电设施完好情况进行排查，就场所夏季防雷电安全运行制度、静电释放杆使用、报警装置日常检查、防雷防静电接地性能检测、周边高杆灯接地性能、地面防静电不发火性能等方面的规范要求与企业负责人逐一进行了深入交流，对南京江北新区新材料科技园危化品车停车场防雷和防静电安全管理给予充

分肯定，对现场存在的安全隐患提出了整改可行性建议和对策措施。企业负责人表示，唐明华专家等的指导对企业有效消除雷电、静电可能带来的破坏及影响十分及时和必要，对他们不辞辛苦、深入一线为企业提供安全服务表示衷心的感谢。



安排专家深入企业指导排查安全消防隐患，是中国电子仪器行业协会静电装备分会积极参与安全生产月活动的一项重点安排，旨在以实际举措为企业生产经营保驾护航，努力为静电安全事业发展作出积极贡献。

撰稿 唐明华



防静电技术发展方向探讨

中国电子仪器行业协会 孙延林

1. 前言

随着芯片制造、AI、新能源等产业快速发展,一些传统的石油、化工、矿山开采、汽车等产业也逐步摆脱传统生产模式,向信息化、智能化方向迈进并使我国成为世界产业链最完备、规模最大的国家,同时也成为受到静电危害(或不良影响)最广泛的国家。防静电行业自上世纪七十年代以来,虽然在防护技术、产品(装备)方面有了较大进步,但仍有部分静电问题没有很好解决,近年随着新兴工业发展又带来一些新的问题,本文针对当前静电问题的解决和防静电技术发展方向作简要探讨。

2. 防静电技术发展方向

2.1 静电基础领域创新

(1) 电子工业静电放电模型创新

针对ESDS产品失效分析与测试的传统静电放电模型有HBM、CDM、MM、BMM、TUL、TLP等,随着量子、光子芯片的问世,AI机器人、无人机、新型电子系统装备(激光设备、量子计算机等等)的推广使用,静电放电(或静电场)对其不良影响及测试方法的研究也提到议事日程。是否还能用现有静电放电模型对量子芯片(光子芯片)、AI机器人、新型电子装备等进行静电抗扰度测试和失效分析,或是提出适用的新型静电放电模型和技术要求已成为面临的课题。

(2) 电子防静电工作区(EPA)技术创新

2025年随着台积电、三星5nm芯片开始批量生产,有些型号的磁头耐ESD电压仅为3V至5V以及新型静电敏感ESDS产品相继问世,使得ESDS产品在生产过程和使用时的预期ESD管控电压降低。电子行业预研报告提出2030年CDM水平将小于125V,对于2D/3D封装CDM水平将降低至50—5V。华为已经将HBM模型确定50V及以上,中兴通信将HBM模型确定的75V和CDM模型125V及以上ESDS产品列入管控计划。原国际标准(IEC61340-5-1)提出的EPA用于那些易被大于或等于100V人体模型(HBM)和200V及以上带电器件模型(CDM)、孤立导体对地电压大于35V及以上的ESD电压管控要求是否适用和EPA部分ESD管控参数的调整与修改已提到议事日程。

(3) 电子ESDS产品静电防护设计与耐ESD电压的标准化

我国以往发布的防静电标准只涉及ESDS产品在制造、存储场所的静电防护要求,对ESDS产品本身的静电防护电路(钳位、阻尼、隔离电路等)、结构设计及静电放电耐压要求没有标准化(不包括手机等少部分产品)。由于采取的是被动式静电防护方式,不论是EPA构建成本还是ESDS产品的失效分析的人力成本都大幅提升。美国军用标准在上世纪八十年代就提出了军用

ESDS 产品、电子仪器的 ESD 耐压要求。制订通用的 ESDS 产品、组件、设备的静电放电耐压标准、通用 ESDS 产品的静电防护电路设计标准,对电子行业静电防护工作有现实意义。

(4) 材料防静电改性技术提升

随着电子、医药、生物科技发展和对生产环境及所用制品洁净度要求不断提高,一些传统防静电改性材料像导电炭黑、金属氧化物、金属粉、导电纤维等(粒径尺寸大致在 3 微米至 200 微米范围),因其制成工艺的问题,使其在防静电改性物品的工作表面(台垫、包装、地坪等等)极易溢出污染周边环境。因此在标准 GB50073《洁净厂房设计规范》规定的环境洁净度五级及以下的电子、制药、生物工程等生产环境中被限制使用。使用抗静电表面活性剂虽能解决环境污染问题,但其防静电时效性较短,改性产品的防静电性能不能持久,受环境湿度影响大。使用防静电性能持久、无污染、对改性产品的机械性能影响小、成本较低的离子型(单性离子、双性离子改性脂肪酸酰胺、磷酸基型等等)抗静电剂和碳纳米管、石墨烯等在洁净度要求较高环境中作为防静电产品改性材料推广使用,对破解国内集成电路、制药、生物医药等生产环境所用中、高端防静电产品依然被国外产品垄断的局面有着现实意义。

2.2 防静电产品(装备)生产制造技术创新和新产品研发

(1) 大力推广 AI 制造技术(机器人等)

在防静电高架活动地板、OA 地板、防静电瓷砖、地坪树脂、地板支架电镀和涂敷、喷塑、

冲压等劳动强度大、有污染、有人身危险工序中使用,以提高产品一致性,减轻职工劳动强度和保证人身安全;

(2) 研发高强度、变形小的硫酸钙高架活动地板,解决国内同类地板机械强度低、易变形的问题,并赶超欧美同类产品。同时研发低耗能、环保、可回收的地板新材料,逐步替代国内广为使用的耗能、不环保、回收困难、浪费钢材的全钢(注水泥)地板。

(3) 研发可降解、能回收重复使用的防静电高分子材料,减少防静电塑料包装、周转箱等制品不能回收利用和生产污染环境的问题;

(4) 研发电子工业用 AI 闭环高分辨率监控、高稳定性、低污染(可在 GB50073 规定的环境洁净度二级及以上环境中使用),残余电压不高于 5V 的离子化静电消除器监控系统。

2.3 防静电应用领域里技术创新

(1) 粉体、液体静电消除与监测

1) 粉体静电消除与监测

在石油、化工粉料处理、粮食脱醇、风力叶片、药品处理工序和火工行业中,粉体静电电压可高达数千伏至几万伏,每年爆燃事故频发给国家造成较大损失。GB15577《粉尘防爆安全规程》、AN4115《烟花爆竹防止静电事故通用导则》、等有关标准中都对防静电做了相关规定,但对采用防爆离子化静电消除技术消除粉体静电技术尚存空白。当前管道、料仓气力输送和粉体处理时发生的静电安全事故较多,采用离子化静电消除技术是消除管道、料仓气力输送粉体静电最有效措​​施之一。开展料仓、管道等气力输送粉

体静电 AI 监测并用防爆离子化静电消除技术消除粉体静电也是技术和标准化重要课题之一。研发无风源防爆离子化静电消除技术(包括 AI 监控、X 软射线消电器等)解决民用火工、烟花爆竹行业无人自动生产线火炸药粉体静电危害也是当前有需求研发项目。

2) 液体静电消除与监测

国内已颁布石油、化工等液体在管道输送时使用自感式离子化静电消除器消除有关标准,目前对油品(各类绝缘液体等)的静电在线监测及联动控制液体流速、静止时间来控制静电产生速率的技术问题已经解决,同时还可以使用管道自感式离子化静电消除器降低液体的静电电荷。但由于自感式静电消除器是被动式消除静电,存在残余电压较高、不能主动调整离子输出强度,安装位置不可随意调整等问题,其使用范围受到局限。研发闭环 AI 监测液体静电并可联动主动式消除静电、安装方便的防爆式离子化静电消除系统是当前需要解决的课题。同样技术经过改进也可以推广到汽车、火车、船舶运输油品(化工品等)领域。

(2) 汽车工业

当前传统燃油车使用的半导体芯片 600—700 个,智能化较高汽车 1600 个左右,更高级的 AI 车有望达到 3000 个左右,同时对 ESD 防护要求大幅提高。国家已颁发 GB/T 19951《道路车辆 静电放电(ESD)电气骚扰试验方法》等标准(GB/T 17626.2)。随着发展原标准存在“动态工况”、“充电场景”15KV 以上 ESD 电压防护、极端使用环境(12%RH 及以下)、最高 35KV 的 ESD 电压试验的缺失等问题在实际工作中暴露出

来,这些技术问题需要通过技术提高和验证并在修订标准时解决,以提高汽车行驶安全性。同时在干燥环境中汽车内饰的防静电要求(防 ESD 电击人体)也应在有关标准体现。

(3) 静电测量仪器、传感器的国产化与可靠性提高

国产仪器像非接触式静电电压表、电阻测试仪、接触式静电电压、静电放电模型、CPM 等仪器对比国外同类仪器在稳定性、一致性、精准性、故障率等方面存在较大差距。另外像静电放电屏蔽能量测试仪等和某些测试电极还没有国产化,这些问题长期存在与我国防静电产品(装备)制造大国的地位极不相称,这些问题的解决需要国内单位“产、学、研”相结合共同攻关来解决。

(4) 智能监控系统研发与推广使用

我国是工业制造大国,在产品防静电产线上推广使用静电智能监控系统对防止静电危害、减轻测试人员劳动强度、提高产品质量和在安全危险环境(火工、石油、化工、粉体作业)中人身安全保障具有较大意义。目前我国在这这方面还处于起步阶段,需要不断技术创新和制订出相关静电监控标准,以满足产业需求。

3. 防静电职业培训与教育

在众多的静电安全事故和产品质量问题的调查中发现绝大多数都是从业人员对静电防护知识缺失或掌握不全造成的。目前全国从事与静电危害工作有关人员数量在 1000 万人以上,其中大部分没有接受过防静电职业培训,有很多企业受过防静电职业培训的人占比不到 2%。因此按行业(电子、石油、化工、火工、矿山等等)(下转第 28 页)

静电放电过程中电荷转移量测试技术探讨

李学文, 孙可平

上海海事大学

【摘要】本文介绍了静电放电过程中电荷转移测试实验方法及配置,就屏蔽型、非屏蔽型2种探头电荷转移量的测试误差进行了比较研究。

【关键词】电荷转移;静电放电;静电测试技术

Research on measurement of charge transfer in electrostatic discharge

Li Xuewen, Sun Keping

(Shanghai Maritime University)

1. 引言

任何带电物体或带电表面,当其激发的静电场或空间电位达到一定强度,便会发生静电放电。放电过程中电离空气产生的大量离子对,与带电物体或带电表面的静电荷发生中和,就会发生电荷转移。放电前后原来带电体静电荷的减少量称为电荷转移量。这种电荷转移量与静电放电的能量级别、强弱密切相关,也与评估静电放电的类型、能量释放强弱、危害性、点燃性密切相关。国内外静电学界纷纷开展相关研究。

测量电荷转移量的技术路径常见的有2种。一是直接测试放电前后的电荷量(例如使用法拉第桶),一是测试放电电流,依据记忆示波器放电电流波形做时间积分,间接获得电荷转移量。

本文重点介绍使用法拉第桶测试静电放电过程中的电荷转移量。而测试探头又分2种,一种是屏蔽型探头(shielded-type

probes),一种是非屏蔽型探头(unshielded-type probes)。本文对两种探头的测试误差进行了比较研究。

2. 实验装置

本文介绍的测试静电放电电荷转移量的装置,其基本方法是采用一块面积适中的可充电表面(安装在绝缘支撑手柄上),将其放入法拉第桶中(不接触)测量其总电荷量,然后使该带电表面与与探头发生静电放电,再将其放入同一个法拉第桶,测试并校核带电表面上的剩余电荷。对探头放电过程中的电荷转移量,即为带电表面初始电量与放电后电量的差值。初始电量与剩余电量均在同一个法拉第桶内完成测试。

本实验使用了2种探头:一种是直径为25mm的钢球,其后侧有连接。另一种是带屏蔽的探头,其屏蔽部分为直径3mm的半球形端头,位于直径5mm的光滑边沿孔中。探头尖端从周围的屏蔽表面伸出约

1/4mm。带屏蔽探头的设计示意图见图1。探头尖端 (probe tip) 位于图中直径 25mm 的半球形屏蔽端头 (probe body with 25mm dia curvature end) 小孔内。Teflon insulators 为聚四氟乙烯绝缘体。图中 BNC connector 是 BNC (Bayonet Nut connector 缩写) 同轴插拔头。

图2为电荷测量放大器示意图。这种电荷测量放大器称为虚拟地电荷测量放大器。可参见 JCI 178 电荷测量仪。其满量程电荷灵敏度分别为 20nC 和 200nC。通过在探头输入端使用 10pF 的优质接地电容 (buffer capacitor) 作为缓冲器,并连接 10k 的输入电阻来驱动前置放大器,从而将流入虚拟地放大器的最大浪涌电流控制在最大驱动能力范围内。

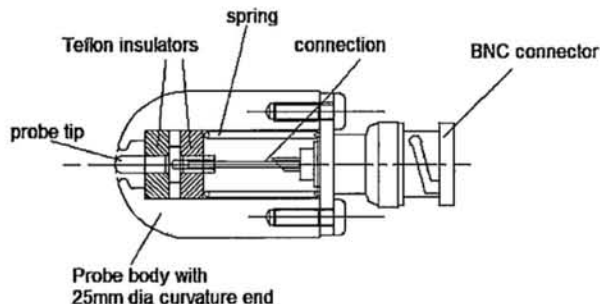


图1 带屏蔽探头的设计示意图

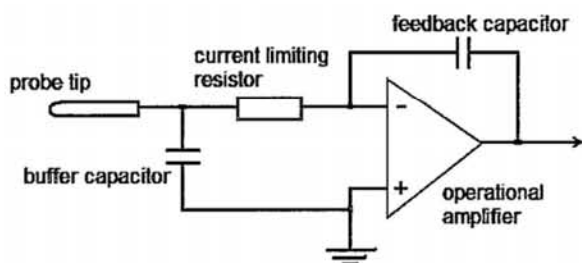


图2 电荷测量放大器示意图

法拉第桶是一个直径为 300mm、高 250mm 的镀锌桶, 安装在一个改造后的镀锌

铁垃圾桶底部的 3 个绝缘子上, 铁垃圾桶直径 410mm, 高 480mm。在盖子上开一个直径 260mm 的孔, 用于样品的进出。法拉第桶通过一根电线连接件与位于桶外壁上的一个 BNC 同轴电缆与电量测量单元相连。

采用了相同的电荷测量单元来测量法拉第桶中观测到的电荷以及通过探头放电产生的电荷, 方法是将两者同时连接到电荷测量单元上。这种比较方法消除了对电荷测量校准的任何疑虑。

一开始, 需对样品固定手柄进行简易的静电中和。手握该手柄靠近蜡烛火焰即可完成。把手柄靠近静电监测仪即可校验手柄静电是否中和干净。然后对测试表面进行充电, 例如用橡皮摩擦, 把充电后的带电表面引入法拉第桶但并不接触桶身, 测试带电表面的初始电荷。再将带电表面从桶内取出, 并对探头静电放电, 再次将带电表面置入桶内, 测试其剩余静电荷。使用记忆示波器记录每个实验阶段的测试结果, 各个实验阶段之间通过读数暂停的时间间隔加以区分。

本实验使用了 2 种样品: 一个是直径 150mm 不锈钢圆盘, 其外边沿有一个 3mm 曲率半径的圆弧表面 (自电容约为 8pF), 另一个是 65×92mm、厚 6mm 的聚四氟乙烯 (Teflon) 桨叶, 安装在从 300mm 长的聚四氟乙烯杆柄上伸出的 65mm 长的黄铜短杆上。其自电容约为 3pF。当金属圆盘放入法拉第桶中时, 通过接地 (接触放电), 使之静电荷达到中和状态。聚四氟乙烯杆被低放进入法拉第桶内时, 其上的电荷也几乎为零。

当带电表面处于高电位时, 开展实验测量并不容易, 必须预先注意可能引起的电晕

放电会不会导致静电荷的意外损失,引起额外测量误差。为此目的,钢质圆盘边沿以及法拉第桶垃圾桶盖的开口边沿都用 PVC 胶带进行了封边处理。

3. 实验结果

图 3 给出了没有屏蔽的探头观测实验钢盘的转移电量实验曲线,而图 4 给出了具有屏蔽探头观测实验钢盘的实验曲线。所展示的第一个波峰是来自法拉第桶的初始充电信号,第二个波峰则是当这个圆盘状的样品接近并以火花放电形式向探头放电时所发出的信号。

当带电圆盘靠近未屏蔽探头时(图 3),电荷信号渐渐地上升,然后突然跳升到一个完整的稳定数值。而对屏蔽探头而言,情形就非常不同。当样品向探头靠近时,一段时间内探头观测不到信号,直到突然跃升到完整的稳定峰值,如图 4 所示。这种跃升显然与火花放电有关,好像探头“看见”和/或“听到”了这种火花放电。就未屏蔽与屏蔽两种探头而言,接受到的总的电荷正好等于法拉第桶内所测量到的电荷量。其差别在于,现在未屏蔽探头设置的测试设备已有 25% 的电荷在放电发生之前就感应给了探头,总电荷中只有 75% 被观测到,也正是这大约 75% 的电荷体现在突然跃升的峰值上,这也是实际发生的静电放电的电荷转移量的体现。对应的电荷量分别是大约 35 与 61 nC。对应于 8 pF 的电容量,静电电压分别是 4 和 7.5 kV。未屏蔽探头读出的电荷转移峰值少于总电量。因此,使用未屏蔽探头无论是测试放电电量,还是测量放电电流,都是不准确的,因为误差高达 25%。

未屏蔽探头在感应荷电时间段内,电流很小,可以被忽略。因为感应电流比放电电流低几个数量级,而且时间尺度也长几个数量级。

把充电钢盘替换成聚四氟乙烯桨叶,充电后重新做上述实验,观测结果如图 5、图 6。

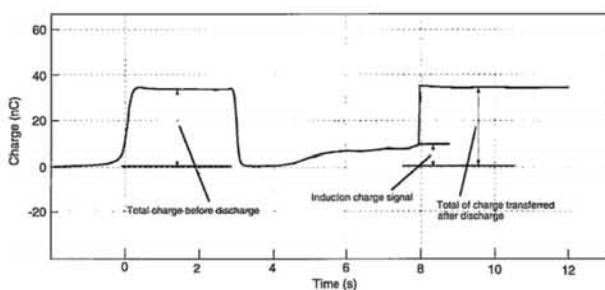


图 3 充电金属钢盘对未屏蔽探头火花放电实验曲线

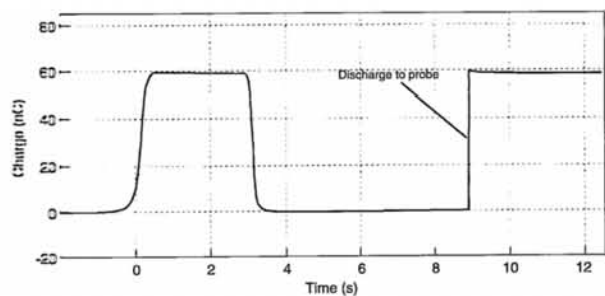


图 4 充电金属钢盘对屏蔽探头火花放电实验曲线

把充电钢盘替换成聚四氟乙烯桨叶,充电后重新做上述实验,观测结果如图 5、图 6。

图 5 显示:电荷转移已变成负极性,电荷转移量的峰值之前就发生了爬升现象,这属于感应现象。这可以加以验证:在没有发生火花放电之前就移除样品,该段爬升就会消失。

火花放电之后,当桨叶从探头移开时,探头的电荷信号下降,剩余的信号则显示了静电放电转移的电荷量。右侧的凸峰表明,随后将桨叶放入法拉第桶时,火花放电中转移的电荷加上留在桨叶上的电荷等于初始

电荷,所以总电荷守恒。

对于未屏蔽探头,应注意:桨叶上净电荷仅有一部分在放电时转移;与电荷转移量相比,感应信号很大。而图6屏蔽探头的测试结果,并未出现感应电荷效应。这再次说明,桨叶上仅有一部分电荷在火花放电时转移了,且并不存在感应效应。

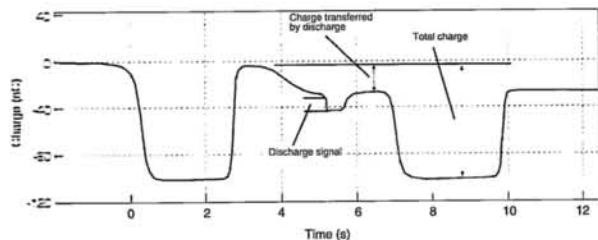


图5 充电聚四氟乙烯桨叶对未屏蔽探头火花放电实验曲线

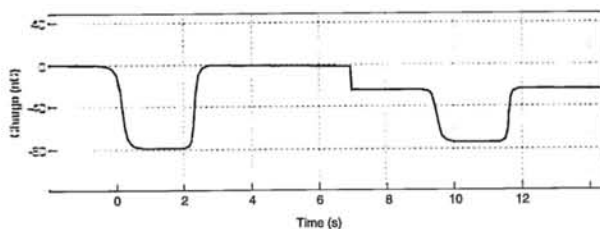


图6 充电聚四氟乙烯桨叶对屏蔽探头火花放电实验曲线

对于未屏蔽探头而言:

金属圆盘放电实验时的电荷转移量误差大约25%。

聚四氟乙烯桨叶实验时,预放电感应信号(re-discharge induction signal)大约占桨叶总电荷(约100nC)的25—30%(约30nC),其中仅有三分之一左右(约11nC)显示出来,可见误差之大!

4. 结论

本文讨论了2种充电圆盘(金属钢盘与聚四氟乙烯桨叶)、2种放电探头(未屏蔽与屏蔽)开展的实验结果,明显揭示出探头屏蔽与否,对实验结果有重大影响。未屏蔽探头的测试结果可靠性存疑。

参考文献

- [1] Guide for evaluating discharges from a charged surface, IEC 61087:1991;BS 7815:1995
- [2] J. Smallwood, G.L. Hearn: A wide Bandwidth probe for Electrostatic discharge measurement, Institute of Physics conference series 178, pp125

(上接第24页)

分类编制相关防静电职业教材和制订职业培训标准并规范防静电职业教育具有现实和长远意义。

4. 结束语

我国防静电产业经过数十年发展虽取得了很大进步,但其技术、产品、管理、标准

化等方面与当前我国在世界所处的地位不相称,因此要不断创新、改进和与时俱进,尽快的促进我国从防静电产品生产大国向防静电技术、标准化、产品强国的转变,为实现中华民族复兴增砖填瓦。

绝缘电阻测试仪不确定度评定

张涛 胡刚 张文斌

(陕西应用物理化学研究所 陕西西安 710061)

【摘要】在防静电设备设施的验收和测试中,绝缘电阻测试仪是必备工具之一。本文通过分析绝缘电阻测试仪不确定度的主要来源,给出了绝缘电阻测试仪标准不确定度的评定方法,为此类设备的计量和使用提供了技术支持。

【关键词】绝缘电阻测试仪;静电;校准;不确定度

绝缘电阻测试仪常用于静电设备设施电阻值的测量,是静电测量中的常用仪表。为保障绝缘电阻测试仪测量的准确性,本文从工程实际出发,结合一台实验室常用的绝缘电阻测试仪,分析了不确定度的四方面来源,给出了标准不确定度、合成标准不确定度和扩展不确定度的计算过程。

1. 校准过程

1.1 测量依据:JJG1005-2019《电子式绝缘电阻测试仪检定规程》

1.2 环境条件:温度 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$; 相对湿度 $30 \sim 80\%$

1.3 测量标准:电阻箱 型号:ZX21;量程: $0 \sim 90000 \Omega$;准确度等级:2%

被测对象:MS5203 型绝缘电阻测试仪电阻值最大允许误差 $\pm (3\%+5)$

1.4 测量过程:采用电阻箱与绝缘电阻测试仪直接连接,对绝缘电阻测试仪的电阻值进行直接测量;

2. 模型建立

依据 JJG1005-2019《电子式绝缘电阻测试仪检定规程》,采用如下数学模型:

$$\Delta R = R_x - R_n \quad (1)$$

(1) 式中: ΔR 为被检绝缘电阻测试仪的示值误差;

R_x :为被检绝缘电阻测试仪指示值;

R_n :为电阻箱示值;

说明: 温度和环境带来的影响忽略不计;

3. 不确定度的评定

3.1 绝缘电阻测试仪测量重复性引起的不确定度 u_1 的评定

采用 A 类方法进行评定,在 $0.5\text{M}\Omega$ 测量点上得到 10 个数据,如表 1 所示。

计算平均值、标准偏差,如下:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

表 1 测试数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实际值(Ω)	0.51	0.50	0.51	0.49	0.50	0.51	0.51	0.48	0.51	0.52

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

其中,平均值: $\bar{x} = 0.504$

标准偏差: 0.012

相对标准偏差: 2.33%

可计算实验标准差: $u_1 = 2.33\%$

3.2 由示值测量的分辨率引出的不确定度分量 u_2

依据 MS5203 型绝缘电阻测试仪使用说明书,在 $0.5M\Omega$ 时的准确度为 $\pm (3\% + 5)$,认为是矩形分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。误差在允许范围内服从均匀分布,采用 B 类方法进行评定,故:

$$u_2 = \frac{3\%}{\sqrt{3}} = 1.732\% \quad (4)$$

3.3 输入量 R_n 的标准不确定度的评定

输入量 R_n 的标准不确定度主要是由 ZX21 型电阻箱的误差引起的。该电阻箱经校准,符合其技术要求, $0.5M\Omega$ 处的准确度为 2%,即 $0.5 \times 2\%$ 的区间内属均匀分布,则覆盖因子:

$$k = \sqrt{3}$$

采用 B 类评定,故

$$u_3 = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.154\% \quad (5)$$

3.4 环境温度引起的标准不确定度 u_4 的评定

由于测试时严格按照规程要求控制环境温度,所以标准器受测试环境影响引入的标准不确定度分量可以忽略。

$$u_4 = 0$$

4. 主要标准不确定度汇总表

主要标准不确定度汇总表见表 2。

表 2 不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	测量重复性引起的标准不确定度	2.33%
u_2	绝缘电阻测试仪分辨率引起的 B 类不确定度	1.732%
u_3	电阻箱引起的 B 类不确定度	1.154%
u_4	测试环境引起的标准不确定度	0.0

5. 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 3.12\% \quad (6)$$

6. 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$,则测量结果扩展不确定度

$$U_{rel} = k u_c = 2 \times 3.12\% = 6.24\% \quad (7)$$

7. 结语

通过本文对绝缘电阻测试仪不确定度的来源分析和数据处理,该型仪表可以满足工程实践中对防静电设备设施性能的技术要求,从而提升品控人员、科研人员和现场测试人员对该类测试仪器的性能评价能力。

参考文献

- [1] WJ 2146-2016 兵器行业防静电用品设施验收规范
- [2] JG1005-2019 电子式绝缘电阻测试仪检定规程
- [3] 刘春浩 测量不确定度评定方法与实践 电子工业出版社 2019
- [4] 倪震才 实用测量不确定度评定 中国质量标准出版社 2020
- [5] Lee Kirkup An introduction to Uncertainty in Measurement Xi'an Jiaotong University Press 2011

¹ 半导体制造工艺过程中的等离子体清洗技术

孙玉荣,王荣刚,成玉磊

苏州天华新能源科技股份有限公司,江苏苏州,215121

【摘要】随着半导体制造工艺中对洁净性能要求越来越高,等离子体清洗技术得到了广泛的应用。在工程应用中,相比于湿式清洗技术,等离子体清洗技术具有高效、无残留、环保的优点,工程应用中可以根据产品清洗目标污染物的种类设计离子发生方式装置,达到清洗效果。本文基于国内外相关研究,对等离子体清洗技术目标物、过程反应、放电模式、效果检测及工程应用进行解读,为半导体制造工艺过程中的等离子体清洗装置设计提供参考。

【关键词】半导体;等离子体清洗;工程应用;放电模式;检测

Interpretation of the Temperature and Humidity Requirements in the Test Environment of Testing Standards for Ionization Static Eliminators

Wangronggang, Sunyurong

(Canmax Technologies Co., Ltd., Suzhou 215121, China)

【Abstract】 With the increasing demands for cleanliness in semiconductor manufacturing processes, plasma cleaning technology has been widely applied. In engineering applications, compared with wet cleaning technologies, plasma cleaning technology offers the advantages of high efficiency, no residue, and environmental friendliness. Depending on the types of contaminants targeted for cleaning, the ion generation method can be designed to achieve the desired cleaning effect. This paper, based on domestic and international research, interprets the target materials, process reactions, discharge modes, effect detection, and engineering applications of plasma cleaning technology, providing references for the design of plasma cleaning devices in semiconductor manufacturing processes.

【Keywords】 Semiconductor, Plasma Cleaning, Engineering Application, Discharge Mode, Detection, Testing

¹ 基金项目:苏州市产业前瞻与关键核心技术重点研究项目(SYC2022029)

1. 前言

根据电子制造业长期以来的品质管控数据统计结果来看,整个半导体生产制造过程中,约有 50%~70% 的品质不良,都是由产品被污染所致,是影响半导体器件性能以及良率的重要因素之一。因此在半导体制造过程中,清洗工艺是贯穿整个半导体制造的重要环节,根据工程实践,清洗工艺是芯片制造过程中占比最高的工序,约占所有芯片制造工序的 30%,使用合适的清洗技术可以极大提高芯片制造的良率。例如,随着硅片的大尺寸化和器件结构的微小化,堆积密度指数增加,对晶圆清洗技术的要求也越来越高,对晶圆表面的洁净度、表面的化学态、粗糙程度和氧化膜的厚度都有了更加严格的要求,任何的沾污都可能影响半导体器件的性能,甚至引起失效。因此,在芯片制造的每一道工序前后,都需要进行清洗工艺,去除表面的污染物,保证晶圆表面的洁净度。

湿法清洗技术经过多年的技术发展,具有清洗能力强、适用范围广、成本较低、工艺成熟的特点,适用于多种材料和工艺,半导体清洗常用清洗液及清洗杂质见表 1。湿法清洗技术能够有效去除多种类型的污染物,包括颗粒、有机物、金属离子和自然氧化层等,技术成熟,操作相对简单,适合大规模生产,是半导体制造中的主流清洗技术。但是使用去离子水、酸性、碱性化学制剂会产生残余腐蚀,废液处理、涉及多个步骤和参数控制,不同晶圆或批次之间可能相互污染,且有些工艺用于刻蚀和清

洗晶圆和设备的酸、碱、溶剂必须是最高纯度的,增加了清洗的成本。

表 1 半导体清洗常用清洗液及清洗杂质

清洗液成分	被清洗的杂质
DIW	颗粒
HF	金属离子、颗粒、氧化物
SCI	有机物、金属离子、颗粒
SC2	金属离子
O ₃	有机物
有机溶剂	有机物、颗粒、金属离子

近年来,在半导体与电子行业中等离子体清洗技术因其高效、环保、无损伤等优点,在多个领域得到了广泛应用。等离子体清洗是一种利用等离子体(即部分电离的气体)对材料表面进行处理的技术。其核心原理是通过等离子体中的活性粒子(如离子、自由电子、自由基等)与材料表面发生物理和化学作用,从而达到清洗、刻蚀、表面改性等目的。等离子体清洗相比湿法清洗在精细度、环保性和工艺灵活性方面优势突出,具有显著优势,采用干式工艺避免液体残留,更适合精密器件,能高效去除顽固有机污染物和纳米级杂质;清洗速度快且可控性高,无化学废液更环保,可处理高深宽比结构,适用于多种先进制程和高端半导体制造需求。

2. 清洗目标污染物的种类及来源

2.1 颗粒污染物

颗粒污染物包括生产环境空气中的尘埃、金属碎屑、聚合物碎屑、人员衣物和皮肤脱落的纤维、皮屑等。颗粒污染物可能在工艺设备运行、化学品传送系统、生产物料工艺过程中产生,也可能通过操作人员带

入洁净室。器件对于污染的敏感度取决于较小的特征图形的尺寸和晶片表面沉积层的厚度。半导体器件,尤其是高密度的集成电路,特征图形尺寸越来越小,膜层越来越薄,易受到各种污染的损害,所允许存在的微粒尺寸也必须被控制在更小的尺度上。目前的量度尺寸已经降到亚微米级,颗粒污染物可能导致半导体晶圆表面的缺陷,尤其在关键区域,可能影响器件的电性能和可靠性,落于器件的关键部位并毁坏了器件功能的微粒被称为致命缺陷。

2.2 金属离子

半导体器件在其晶圆上精心布局了N型和P型的掺杂区域,以及这些区域间精确的N/P相邻带。这些区域的电阻率必须得到精确控制,以确保器件的性能和可靠性。通过在硅晶体和晶圆中有意掺入特定的掺杂离子,我们能够精确调控这些关键特性。只需极微量的掺杂物质,就能达到预期效果。然而,即便是晶圆中微量的带电污染物,也可能显著改变器件的标准特性,影响其工作表现和可靠性。金属离子污染物主要来源于未经处理的化学品、超纯水、设备材料以及工艺过程中的金属互连材料。钠离子是最常见的可移动离子污染物,具有极高的迁移能力。存在于材料中的金属离子以离子形态存在,这些金属离子在半导体材料中具有极高的迁移性,即使器件在出厂前通过了所有电性能测试,金属离子仍可能在器件内部移动,最终导致器件在使用过程中失效。不幸的是,几乎所有的化学物质中都含有有可能在硅器件中引发这

些问题的金属元素。因此,为了确保器件的质量和性能,金属离子污染物必须被严格控制在安全的范围内,在工艺中得到有效的控制。

2.3 有机物污染物

在半导体组装过程中,有机物污染包括光刻胶残留、润滑剂挥发物、塑料分解产物、人体皮肤油脂、洁净室空气中的有机物等,通常以碳氢化合物的形式存在。这些污染物通常以薄膜或颗粒形式附着在芯片表面、焊盘或引线键合区域。有机物污染可能导致晶圆表面的非预期蚀刻,形成难以清除的化合物,削弱焊点或键合线的附着力,粘接失效导致封装可靠性降低,有机残留物可能增加接触电阻,导致电性能降低影响信号传输,甚至造成短路或漏电,还可能分解产生酸性物质,腐蚀金属互连层。光刻胶的表面污染物导致对金和铝金属层的金键合焊球的剪切强度显著下降。与金相比,通常在铝金属层基板上的键合受环氧树脂放气污染物的影响更大。

2.4 化学物质

在半导体制造领域,除了微粒和金属离子之外,第四种主要污染物是不必要的化学物质。这些化学物质可能以微量形式存在于工艺中使用的化学品和水中,它们对芯片制造过程产生不利影响。这些痕量物质可能导致晶圆表面发生非预期的蚀刻,形成难以清除的化合物,或者导致工艺过程的不均匀性。氟就是这类污染物的一个例子,它在工艺中使用的化学品中的浓度受到严格的限制和管理。

2.5 空气中分子污染 (AMC)

AMC 包括氧气、潮气、有机物、酸、碱及其他物质,可能从工艺设备、化学品传送系统、材料或人员带入生产区域。例如,前开口通用晶圆匣 (FOUP) 的塑料材料是释放 AMC 的一个来源。AMC 可能导致光刻胶变质、刻蚀速率偏离、电参数漂移等问题,尤其在光刻和刻蚀工艺中影响最为显著。

2.6 半导体制造工序中产生污染物的工序

(1) 光刻工序产生的污染物包括光刻胶残留、有机物污染、AMC 等,光刻过程中使用的光刻胶可能未完全去除,导致残留,环境中的有机物和 AMC 可能进入生产环境。

(2) 刻蚀工序产生的污染物有颗粒污染物、金属离子、有机物污染等,来自于刻蚀过程中产生的金属碎屑和聚合物碎屑,以及设备材料的老化分解。

(3) 化学气相沉积 (CVD) 工序产生的污染物有有机物污染、金属离子等,有机物在高温分解过程中生成碳杂质,进入薄膜后影响电学性能。

(4) 清洗工序产生的污染物有颗粒污染物、金属离子、有机物污染,因为清洗过程中使用的化学品可能引入杂质,或清洗不彻底导致残留。

(5) 封装工序产生的污染物有有机物污染、颗粒污染物,塑封材料释放的有机物可能引起焊点腐蚀,影响芯片与外部电路的连接稳定性。

3. 等离子清洗放电模式

等离子可以被定义为部分或全部电离的气体。有数量粗略相等的正电荷粒子和

负电荷粒子。在半导体封装中,目前主要使用氩气、氧气、氢气或者一定比例的氩氢混合气作为被激发气体来实现对芯片、引线框、基板表面的清洗活化,除去被清洗物体表面的聚合物、金属氧化物、有机物沾污,不同等离子体与被清洗物体表面有机物的反应。就反应机理来看,等离子体清洗通常包括以下过程:无机气体被激发为等离子态,气相物质被吸附在固体表面,被吸附基团与固体表面分子反应生成产物分子,产物分子解析形成气相,反应残余物脱离表面。3.1—3.5 列出了等离子清洗主要采用的放电模式。

3.1 直流辉光放电 (Direct Current Glow Discharge, DC)

直流辉光放电等离子体清洗是通过在两个电极之间施加直流电压,放电模式从 Townsend 放电到稳定的辉光放电,使气体分子电离形成等离子体。这种清洗模式的材料适应性强,对金属、玻璃等耐轰击材料效果显著,但对于塑料或涂层表面需控制轰击能量。直流辉光放电等离子体清洗通常在低气压 (如 10^{-3}Pa 至 10^{-1}Pa) 下进行,适合高真空环境,能够对整个真空室或处理腔体进行全面清洗,清洗效果均匀,研究人员提出了采用多电极不对称阳极电位的设计,进一步提高清洗的均匀性和清洗效率。辉光放电这种放电方式产生的等离子体密度适中,适合处理温度敏感的基材,但电极容易产生沉积物,需要定期维护。

3.2 射频放电 (Radio Frequency Discharge, RF)

射频放电能够产生高密度的等离子体,

清洗效率高,适合对效率要求高的场合,如手机玻璃镀膜前处理和LED芯片封装。

在射频放电等离子体清洗中,通常使用射频电源(频率一般为13.56MHz),在真空腔体内(气压通常在5~100Pa范围内),向腔体中通入工艺气体(如氩气、氧气等)。当射频电源开启后,气体分子在高频电场的作用下被电离,产生包含电子、离子、自由基等活性粒子的等离子体。射频放电等离子体清洗主要有电容耦合(CCP)和电感耦合(ICP)两种耦合方式。

电容耦合(CCP):通过在真空腔体内设置两个电极,形成类似于平行板电容器的结构。射频电源连接到其中一个电极,另一个电极接地。在射频电场的作用下,气体分子被电离形成等离子体。CCP的优点是结构简单,适合大面积或深层清洗。通过平行板电极间的电容耦合激发等离子体,适合小面积均匀清洗(如半导体晶圆)。

电感耦合(ICP):通过在放电腔体外部缠绕感应线圈,利用电磁感应产生二次电场来激发气体放电。ICP可以在较低的气压下产生高密度的等离子体,适用于需要高离子通量和高能量轰击的应用。

3.3 微波放电(Microwave Discharge)

微波等离子体清洗技术是利用微波源产生的高频交变电磁场(通常为2.45GHz)激发工艺气体(如氧气、氩气、氢气等)电离,形成等离子体。等离子体中的高能活性粒子(如离子、自由基等)与被清洗表面的污染物发生物理轰击或化学反应,将污染物分解为气态产物并排出,从而实现表面

清洗。

微波等离子体清洗可在低压(如10~3Pa)或常压下操作,清洗速度快、效率高,能够在短时间内去除表面有机物和无机颗粒,清洗过程温度低,不会对敏感材料造成热损伤。清洗目标选择合适的气体,如氧气用于氧化性清洗,氩气用于物理轰击。可应用于多种材料表面,包括半导体、金属、玻璃和聚合物材料。微波等离子体清洗技术已实现亚纳米级表面粗糙度控制,适用于极紫外(EUV)光刻胶去除等高精度应用。

3.4 电子回旋共振等离子体(Electron Cyclotron Resonance, ECR)

电子回旋共振等离子体是一种高效、高密度的等离子体产生技术,利用微波(通常频率为2.45 GHz)和磁场(约875 Gs)的协同作用,使电子在磁场中做回旋运动并共振吸收微波能量,从而高效电离气体,产生高密度、低损伤的等离子体。电子在共振条件下能量更高,电离效率高,等离子体密度可达 $10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$,低离子能量($<20 \text{ eV}$)减少对材料的物理轰击损伤,适合精细清洗,适用于热敏感材料(如聚合物、生物材料)低温处理和大面积基片清洗(如半导体晶圆)。

3.5 介质阻挡放电(Dielectric Barrier Discharge, DBD)

介质阻挡放电(Dielectric Barrier Discharge, DBD)等离子体清洗技术是一种在常压或近常压条件下产生等离子体的非热平衡放电技术,通过两电极间插入绝缘介质层(如石英、陶瓷、聚合物)阻挡电流

持续发展,形成均匀或丝状放电,广泛应用于材料表面清洗、活化和改性。丝状放电(Filamentary Mode)可形成微放电通道(电流细丝),适用于局部高能处理;均匀放电(Homogeneous Mode)模式形成弥散等离子体(如APGD),适合大面积均匀清洗。介质阻挡放电可在大气压下运行,无需真空系统,适合大规模工业生产,如汽车零部件和医疗器械的表面处理。

4. 清洗过程反应类型

由于等离子体中的电子、离子和自由基等活性粒子的存在,其本身很容易与固体表面发生反应。等离子体清洗主要是依靠等离子体中活性粒子的“活化作用”达到去除物体表面污渍的目的。

等离子体与固体表面发生反应可以分为物理反应(离子轰击)和化学反应,等离子体清洗反应示意图见图1。物理反应主要是通过等离子体中的离子(如氩离子)对材料表面进行轰击,使表面的原子或分子获得足够的能量而从表面脱离,并在气流作用下完全吸走。例如,氩气等离子体中的氩离子在电磁场的作用下获得能量,撞击材料表面,将表面的污染物或原子溅射出去。化学反应则是利用等离子体中的高活性自由基与材料表面的污染物发生化学反应,生成易挥发的产物,从而实现清洗。例如,氧气等离子体中的氧自由基可以与有机污染物发生氧化反应,生成二氧化碳和水,氢气等离子体中的氢自由基可以与金属表面的氧化物发生还原反应生成水。等离子体清洗主要的化学反应式见表2。

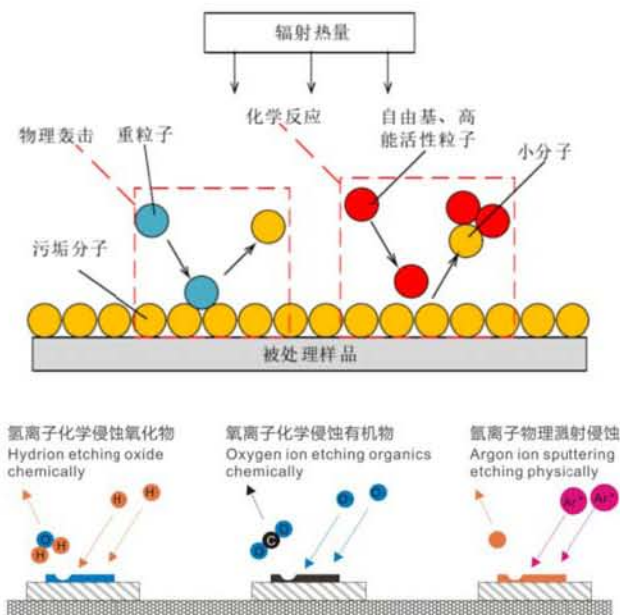


图1 等离子体清洗反应示意图

物理反应不会在材料表面发生化学反应产生氧化物,能够保持材料的化学纯洁性,但可能会对表面造成一定的损伤。化学反应清洗速度快、对有机污染物的选择性好,但可能会在表面生成氧化物。和物理反应相比较,化学反应的缺点不易克服。两种反应机制对表面微观形貌造成的影响有显著不同,物理反应能够使表面在分子级范围内变得更加“粗糙”,从而改变表面的粘接特性。

两种清洗反应可以互相促进,离子轰击使被清洗表面产生损伤削弱其化学键或者形成原子态,容易吸收反应剂,离子碰撞使被清洗物加热,使之更容易产生反应,其效果是既有较好的选择性、清洗率、均匀性,又有较好的方向性。典型的等离子体物理清洗工艺是氩气等离子体清洗,氩气本身是惰性气体,等离子体的氩气不和表面发生反应,而是通过离子轰击使表面清洁。典

表2 等离子体清洗主要的化学反应式

等离子气体	表面处理工艺及反应式
Ar	表面沾污去除 $\text{Ar} + e^- \rightarrow \text{Ar}^+ + 2e^-$ $\text{Ar}^+ + \text{沾污} \rightarrow \text{挥发性沾污}$
O_2	有机污染物去除及表面活化改性 $\text{O}_2 + e^- \rightarrow \text{O}_2^+ + 2e^-$ $\text{O}_2 + e^- \rightarrow \text{O} + \text{O} + e^-$ $\text{O}_2 + e^- \rightarrow \text{O}_2 + h\nu + e^-$ $\text{O}_2 + e^- + h\nu \rightarrow 2\text{O}(D) + e^-$ $\text{O}_2 + e^- \rightarrow \text{O} + \text{O}^+ + 2e^-$ $\text{C}_x\text{H}_y + \text{O}(D) \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
N_2	表面清洗和表面改性 $\text{N}_2 + e^- \rightarrow \text{N}_2^+ + e^-$ $\text{N}_2^+ + e^- \rightarrow \text{N}_2 + h\nu + e^-$ (1) $\text{N}_2 + e^- \rightarrow \text{N}_2^+ + 2e^-$ $\text{N}_2 + e^- \rightarrow \text{N} + \text{N}^+ + 2e^-$
H_2	金属或半导体等表面氧化物去除 $\text{H}_2 + e^- \rightarrow \text{H}_2^+ + e^-$ $\text{H}_2^+ + e^- \rightarrow \text{H}_2 + h\nu + e^-$ $\text{H}_2^+ + e^- \rightarrow 2\text{H} + e^-$ (2) $\text{H}_2 + e^- \rightarrow \text{H}_2^+ + 2e^-$ $\text{H}_2 + e^- \rightarrow \text{H} + \text{H}^+ + 2e^-$ $2n\text{H} + \text{非挥发性金属氧化物} \rightarrow \text{金属} + n\text{H}_2\text{O}$
$\text{H}_2 + \text{N}_2$	半导体表面去污及还原氧化物、表面改性 反应式(1)和(2)

型的等离子体化学清洗工艺是氧气等离子体清洗,通过等离子体产生的氧自由基非常活泼,容易与碳氢化合物发生反应,产生二氧化碳、一氧化碳和水等易挥发物,从而去除表面的污染物。使用氩气和氧气的混合气体进行等离子清洗时,氩离子的物理轰击可以提高氧离子的化学反应能力,从而更有效地去除严重污染的材料表面。物理化学反应同时存在在清洗过程中能够结合两者的优点,提高清洗效率。

5. 清洗效果性能检测

5.1 物理性能检测

5.1.1 接触角测量

接触角测量是评估等离子清洗效果最

常用的方法之一。通过接触角测量仪检测材料表面处理前后的水滴接触角变化,可以间接反映表面能的变化,测试示意图见图2。未经处理的材料表面接触角通常大于90度,而经过有效等离子清洗后,接触角会显著降低至30度以下,表明表面亲水性大幅提升。使用接触角测量仪在材料表面滴加一定体积的液体(如水)接触角越小,表面能越高,表明等离子清洗效果越好。拍摄液滴的侧视图,通过分析软件计算接触角。对比清洗前后的接触角变化,评估表面能的提升效果。

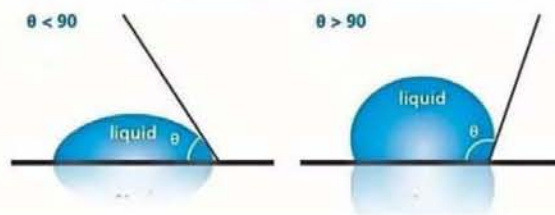


图2 等离子体清洗水滴角测量示意图

5.1.2 表面能测试

采用达因笔或表面能测试液组对处理后的材料进行测试,通过观察液体在表面的铺展情况判断表面能等级,等离子清洗技术可使材料表面能达到72mN/m以上,达到接近完全亲水的状态。

5.2 化学成分分析

等离子体清洗后表面化学成分分析可以通过以下几种常用方法实现:

(1) X射线光电子能谱(XPS)分析法

通过测量从表面发射的光电子的能量和数量,可以确定表面元素的化学状态和成分,从化学成分层面验证清洗效果,通过检测碳元素含量变化判断有机污染物去除

率,清洗后表面碳含量应下降 60%以上。

(2) 傅里叶变换红外光谱 (FTIR)

FTIR 可以用于分析表面有机物质的残留,尤其是在高分子材料上。通过对比清洗前后的红外光谱差异,可以评估等离子体清洗对表面化学键的影响。

(3) 俄歇电子能谱 (AES)

AES 通过测量从表面发射的俄歇电子的能量和数量,可以分析表面元素的组成和分布。这种方法适用于分析导电材料表面的元素变化。

(4) 能谱分析 (EDS)

EDS 可以结合扫描电子显微镜 (SEM) 使用,用于分析表面元素的分布和含量。例如,在 PVC 的等离子体处理中,通过 EDS 分析发现处理后表面 O 元素含量增加,表明等离子体处理引入了新的基团。

5.3 微观结构观察

5.3.1 扫描电子显微镜 (SEM) 或透射电子显微镜 (TEM)

可以清晰观察到等离子清洗前后表面污染物去除情况以及表面粗糙度的变化。有效的等离子清洗应当在不损伤基材的前提下,使表面粗糙度 Ra 值控制在合理范围内 (通常为 $0.1-1\ \mu\text{m}$)。

观察表面形貌变化,等离子清洗后,材料表面的污染物、颗粒等会被去除,表面形貌会发生变化。通过 SEM 可以直观地观察到这些变化,例如表面是否变得光滑、平整,是否有残留的颗粒或污染物等。

评估表面粗糙度,等离子清洗可能会改变材料表面的粗糙度。SEM 能够提供表面

的高分辨率图像,结合图像分析软件,可以对表面粗糙度进行定量分析,从而评估等离子清洗对表面形貌的影响。

检测残留污染物,等离子清洗后,如果表面仍有残留的污染物,SEM 可以清晰地观察到这些残留物的存在。通过对比清洗前后的 SEM 图像,可以判断等离子清洗是否彻底去除了表面的污染物。

5.3.2 原子力显微镜 (AFM)

AFM 可以精确测量清洗前后的表面粗糙度变化,清晰地显示等离子清洗后表面的微观结构形貌变化,等离子清洗不仅去除污染物,还可能引入新的化学官能团,AFM 结合其他分析技术 (如 XPS 或 FTIR) 可以揭示表面化学改性的效果。

5.3.3 光学检测方法

白光干涉仪可以测量表面的微观形貌,可以得到表面粗糙度的均方根 (RMS) 值等参数。例如在单晶硅表面的等离子体清洗实验中,白光干涉仪可以清晰地显示出清洗前后的表面粗糙度变化。

激光扫描共聚焦显微镜 (LSCM) 利用激光扫描技术获取表面的三维形貌信息,进而计算表面粗糙度。这种方法具有较高的分辨率和测量精度,适用于测量微小结构的表面粗糙度。

5.4 定性分析方法

采用目测及光学观察法,肉眼或光学显微镜观察被清洗样件表面,判断其是否达到指定的清洁程度或干净标准;图像处理法依靠摄像机提取基材表面信息,经数据处理后通过定性分析污染区域面积变化或

图像像素灰度变化去评价清洗效果。

6. 等离子体清洗技术工程应用

6.1 工程应用优势

等离子体清洗技术的最大特点是不分处理对象的基材类型,均可进行处理,对金属、半导体、氧化物和大多数高分子材料,如聚丙烯、聚脂、聚酰亚胺、聚氯乙烯、环氧、甚至聚四氟乙烯等都能很好地处理,并可实现整体和局部以及复杂结构的清洗。等离子体清洗的应用环境主要包括工业环境和实验室环境,表3列举了在行业应用的场景和采用的等离子体类型。

6.2 工程应用中应该考虑的问题

6.2.1 工艺参数优化

根据清洗目标物通过实验和测试分析清洗效果确认放电模式、优化功率,选择合适的工作气体,纯度、气体种类及混合比例、气体流量、处理时间,有可能在表面生成新的物质,也需要精确控制,以确保清洗效果。清洗时间过长可能导致过度清洗,可能会导致基板表面损伤、材料性能下降等问题。如不同类型的 BGA 芯片基板材料和封装要求需要不同的等离子处理工艺参数。清洗功率过高可能导致表面损伤,尤其

表3 行业应用场景和采用的等离子体类型

行业领域	具体应用场景	常用等离子体类型	主要作用机制	典型工艺参数
半导体制造	- 晶圆表面去胶(光刻胶残留) - 焊盘氧化物清除 - 低k介质预处理	RF (O_2 /Ar/ CF_4 混合气) ICP	化学氧化(O^+) 物理溅射(Ar^+) 自由基反应($\cdot CF_3$)	13.56 MHz, 100-500W, 1-5 Pa
微电子封装	- PCB 焊盘清洁 - 引线框架活化 - 芯片粘接前表面处理	DC/RF (Ar/ H_2 / N_2)	物理溅射(Ar^+) 氢还原(H^+ 去除氧化物)	DC: 300-800V, RF: 50-200W, 2-10 Pa
光学器件	- 透镜镀膜前清洗 - 光纤端面处理 - AR/IR 膜层制备基底活化	RF/微波 (Ar/ O_2)	有机物分解(O_3) 表面能提升($-OH$ 基团引入)	微波: 800-1200W, 0.5-3 Pa
航空航天	- 碳纤维复材粘接预处理 - 钛合金热防护层涂覆前清洗 - 卫星部件灭菌	RF/DC (Ar/ O_2) 真空紫外等离子体	去除脱模剂(物理+化学) 金属氧化物还原	RF: 200-600W, 0.1-2 Pa
新能源	- 锂电池极片清洗 - 太阳能电池 ITO 玻璃去污 - 燃料电池质子膜活化	RF/DC (Ar/ H_2) 大气压射流	碳残留清除(H^+ 还原) 表面润湿性调控	DC: 500-1000V, RF: 13.56MHz,
科研与纳米技术	- 二维材料转移辅助清洗 - 纳米颗粒分散基底处理 - MEMS 器件释放工艺	ICP (Ar/ O_2) ECR 等离子体	选择性刻蚀(各向异性) 原子级表面平整化	ICP: 1000-2000W, 0.01-0.1 Pa

是对低 k 介质层和有机材料, 需要根据材料特性选择合适的功率范围。在实际应用中, 需要通过实验和测试来优化功率、处理时间、气体种类和流量等参数。

6.2 材料兼容性

敏感材料保护, 对于温度敏感的材料 (如 PET 薄膜等), 长时间等离子体轰击可能导致形变, 低温等离子技术可以将工艺温度控制在 80°C 以下, 减少热损伤, 特殊材料处理, 某些高分子材料 (如 PP、PE) 经等离子处理后, 表面活性基团衰减较快, 影响后续涂层附着力, 需要优化工艺参数以延长活性维持周期。

6.3 清洗效果与均匀性

需要优化设备设计, 确保大面积晶圆上实现均匀的等离子体分布。避免可能导致局部过清洗或清洗不足。常规等离子清洗机对材料处理深度有限 (通常在 5–50 纳米), 难以满足深层污染物清洗需求, 同时对于复杂三维结构或微孔内部的污染物, 可能需要结合其他清洗技术 (如超声波清洗)。

6.4 设备与操作安全

半导体材料对静电敏感, 静电积累可能导致表面吸附污染物或引起电荷不平衡。等离子体清洗机通常会采取静电消除措施, 配合使用离子化静电消除器及监控设备等确保产品的静电安全。

6.5 环境与健康影响

需要评估处理的元器件清洗过程中可能产生有害气体, 必要时连接废气处理系统, 确保排放符合环保要求。操作人员应穿

戴适当的防护装备, 避免直接接触等离子体或高压电源。

6.6 成本与效率

等离子体清洗设备成本较高, 尤其是进口设备。需要考虑设备的维护和气体消耗成本。单台设备处理量有限, 批量生产需多机并联, 占地面积增加。此外, 腔体抽真空时间占整体工序时长的 40%, 制约产线优化。

7. 结论

7.1 等离子体清洗技术凭借其干式、高效、环保的特性, 已成为半导体制造、生物医学、新能源等领域的核心工艺, 在表面清洗、刻蚀、沉积及功能化等方面相比湿式清洗法展现出强大的优势, 推动高端制造向绿色化与精密化发展;

7.2 虽然等离子体清洗技术优点很多, 但是在均匀性控制方面, 处理过程中常出现边缘效应和局部过热现象, 导致基片表面处理不均匀。特别是在处理大尺寸晶圆 (如 12 英寸及以上) 或三维复杂结构时, 等离子体密度的空间分布难以保持均一, 需要开发新型等离子体源 (如多电极阵列设计) 结合实时光学发射光谱 (OES) 监测系统来实现精确调控;

7.3 等离子体清洗技术工程应用时, 应考虑工艺参数 (功率、气压、气体配比) 的精确调控, 基材热损伤与表面电荷积累的预防, 设备成本与能效比的优化, 工艺重复性与规模化生产的可靠性等, 这些因素直接影响工艺效果与产业化可行性。

8. 参考文献

- [1] Neamen D A. 半导体物理与器件[M]. 赵毅强, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 孟建兵. 大气常压等离子体弧清洗理论与关键技术研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [3] 金英, 史冬梅. 氧氩混合气体等离子体射流在清洗中的应用[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2017, 38 (1): 30-35.
- [4] SELWYN G S, HERRMANN H W, PARK J, et al. Materials processing using an atmospheric pressure, RF-generated plasma source [J]. Contribution to Plasma Physics, 2001, 41 (6): 610-6193.
- [5] 孟建兵, 徐文骥, 王续跃, 等. 大气压等离子体弧清洗反应动力学模型和参数的研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, 5: 737-7453.
- [6] 李仁. 半导体 IC 清洗技术[J]. 半导体技术, 2003, 28(9): 44-47.
- [7] 龙乐. 等离子体清洗及其在电子封装中的应用[J]. 电子与封装, 2008(4): 12-15.
- [8] 葛秋玲, 李良海. 微波等离子清洗在封装工艺中的应用[J]. 电子与封装, 2014(2): 5-8.
- [9] 金成刚. 射频等离子体放电及材料处理研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.
- [10] 白清顺, 郭永博, 陈家轩, 等. 超洁净制造的研究发展 [J]. 机械工程学报, 2016, 52 (19): 145-153.
- [11] 聂磊, 蔡坚, 贾松良, 等. 微电子封装中等离子体清洗及其应用 [J]. 半导体技术, 2004, 29(12): 30-34.
- [12] 王伟乾, 乔丽. 氧气流向对等离子去胶的影响[J]. 轻工科技, 2019, 35(7): 87-88.
- [13] 黄国平, 陈科科, 杨杰, 圣宇, 肖涛. 等离子清洗在航空电子产品印制板组件三防工艺中的应用[J]. 航空电子技术, 2024, 55 (3): 67-72.
- [14] 王庆国. 达因笔测试表面张力的方法[J]. 塑料包装, 2008(5): 49-50.
- [15] 王春生, 叶荣坤, 李志胜. 等离子清洗的工艺探究[J]. 山西电子技术, 2021(4): 91-92.

DBD 等离子体清洗技术研究

孙玉荣,王荣刚,成玉磊,葛金

苏州天华新能源科技股份有限公司,江苏苏州,215121

【摘要】随着半导体制造工艺中对洁净性能要求越来越高,等离子体清洗技术得到了广泛的应用。等离子体清洗技术具有工艺高效、无残留、环保的优点,DBD 等离子体清洗技术因大面积稳定放电优势,应用于半导体元器件的清洗。本文基于国内外相关研究,对等离子体清洗技术原理、清洗机理进行解读,为半导体制造工艺过程中的 DBD 等离子体清洗装置设计提供参考。

【关键词】半导体 DBD 等离子体清洗工程应用放电模式

中图分类号:文献标识码:

Application of DBD Plasma Cleaning Technology

Sun Yurong, Wang Ronggang, Cheng Yulei, Ge Jin

(Canmax Technologies Co., Ltd., Suzhou 215121, China)

【Abstract】 With the increasing demands for clean performance in semiconductor manufacturing processes, plasma cleaning technology has gained widespread application. Plasma cleaning technology is characterized by its high efficiency, no residue, and environmental friendliness. DBD (Dielectric Barrier Discharge) plasma cleaning technology, in particular, has been applied in semiconductor cleaning due to its advantage of stable large-area discharge. Based on domestic and international research, this paper interprets the principles and cleaning mechanisms of plasma cleaning technology, providing references for the design of DBD plasma cleaning devices in semiconductor manufacturing processes.

【Keywords】 Semiconductor, DBD Plasma Cleaning, Engineering Application, Discharge Mode

1. 前言

在现代工业制造和科学研究中,表面清洁和改性技术对于提高产品质量、延长设备

使用寿命以及满足特定功能需求至关重要。传统的湿法清洗工艺虽然在某些领域仍然占据重要地位,但其复杂的工艺流程、高昂

¹ 基金项目:苏州市产业前瞻与关键核心技术重点研究项目(SYC2022029)

的废水处理成本以及对环境的潜在危害,促使人们寻求更加高效、环保的替代方案。等离子体清洗技术作为一种新兴的干法清洗技术,凭借其独特的优势,逐渐在多个领域崭露头角。

等离子体清洗技术的核心在于利用等离子体中的活性粒子与材料表面发生物理和化学反应,从而实现表面清洁和改性。等离子体是一种部分电离的气体,其中包含大量的自由电子、离子、自由基等活性粒子。这些活性粒子具有高能量和高反应活性,能够与材料表面的污染物或基体发生复杂的化学反应,从而去除表面杂质、改善表面性能或引入特定的功能基团。与湿法清洗相比,等离子体清洗技术具有以下显著优势:无需使用大量化学试剂,避免了废水处理问题;可在常温常压下进行,无需复杂的真空设备,降低了工艺成本;清洗过程快速高效,能够显著缩短生产周期;对材料表面的损伤极小,适用于各种敏感材料的处理。

在众多等离子体生成方式中,介质阻挡放电(DBD)技术因其独特的优势而备受关注。DBD技术通过在两个电极之间施加高电压,并在电极之间设置绝缘介质层,实现气体的均匀放电。这种放电方式能够在常压下产生稳定的等离子体,无需复杂的真空设备,操作简便且成本较低。此外,DBD等离子体的活性粒子浓度高、能量分布均匀,能够实现高效的表面处理效果。因此,DBD等离子体清洗技术在半导体制造、生物医学、环境保护和材料表面改性等领域得到了广泛应用,并取得了显著的成果。本文介绍了DBD等离子体清洗技术的基本原理和清洗

机制,为半导体制造工艺过程中的DBD等离子体清洗装置设计提供参考。

2. 介质阻挡放电等离子体清洗的原理

DBD是一种非平衡态气体放电,通常在大气压或接近大气压下产生。它利用高压交流电或脉冲电源,在两个电极之间的放电间隙中产生等离子体。至少一个电极覆盖有绝缘介质(如玻璃、陶瓷、聚合物等),这就是“介质阻挡”的由来。

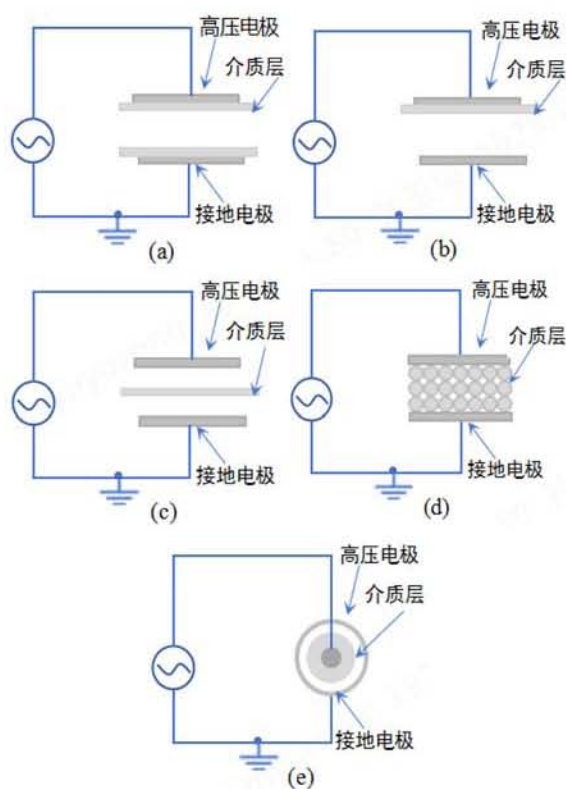


图1 DBD等离子体放电装置示意图

(a) — (c) 平板型放电电极结构;

(d), (e) 填充床型放电电极结构

介质阻挡放电DBD等离子体可借助放电间隙中的电介质的阻挡避免在流光通道中形成放电火花。与电晕放电相比,DBD等离子体的重复性、均匀性和稳定性特点使得这种放电型式非常适合于表面处理。另外,DBD等离子体处理技术可以不使用昂贵的

真空装置,更避免使用大量的化学试剂,是一种低成本的绿色环保工艺。DBD 等离子体放电装置示意图如图 1 所示。图 1(a)~(c)所示的平板型 DBD 等离子体装置可用于薄膜样品的表面处理;而图 2(d)和图 2(e)所示的填充床型 DBD 等离子体一般用于颗粒样品的表面处理。DBD 等离子体的典型间隙从 0.1mm 到几厘米不等。DBD 等离子体是由大量的自由电子积累引起的短寿命丝状微放电引发。位于放电区域中的介质阻挡层可以防止这些单独的微放电形成电流,因此 DBD 等离子体可以获得较大面积均匀放电。介质阻挡层可以由玻璃、石英、陶瓷、聚合物或其他具有低介电损耗和高击穿强度的材料制成。

形成 DBD 等离子体放电过程包括基本的三个过程:(1) 电场建立,当在两个电极之间施加高压交流电或脉冲电时,放电间隙中的气体被电离,产生大量自由电子和离子;(2) 电子加速,在交变电场的作用下,自由电子被加速,与放电空间的气体分子发生碰撞;(3) 电离和激发,高能电子与气体分子碰撞,导致气体分子电离和激发,产生更多的自由电子、离子、激发态分子和自由基^[4],这些活性粒子是等离子体清洗的主要作用物质。放电的过程中,覆盖在电极上的介质层发挥了作用,限制了电流的大小,防止电弧放电的发生,保持放电的稳定性和均匀性,介质层上的电荷积累会影响放电的稳定性和均匀性。

DBD 等离子体放电模式有两种丝状放电和均匀放电模式。丝状放电是由许多短暂的、随机出现的放电细丝组成的,均匀放电

则放电均匀地分布在整个放电间隙中。放电模式受多种因素影响,包括气体类型、压力、电极间距、介质性质和施加电压的波形。介质阻挡放电等离子体清洗就是利用气体分子在强电场作用下被电离,产生大量的活性粒子,这些粒子与材料表面发生碰撞,从而实现清洗效果。

在介质阻挡放电中,电场分布是影响放电特性的关键因素。假设电极间距为 d ,介质层厚度为 δ ,电极间施加的电压为 $V(t)$,则电场强度 E 可以表示为:

$$E = \frac{V(t)}{d - \delta}$$

其中, $d - \delta$ 为实际放电间隙。当电场强度达到气体的击穿场强 $E_{\text{breakdown}}$ 时,开始气体电离,形成等离子体。

等离子体中的电子能量分布函数(EEDF)是描述电子能量状态的重要参数。在 DBD 等离子体中,电子能量分布通常可以用麦克斯韦分布来近似:

$$f(E) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{k_B T_e} \right)^{3/2} E^{1/2} \exp \left(-\frac{E}{k_B T_e} \right)$$

其中, m 是电子质量, k_B 是玻尔兹曼常数, T_e 是电子温度, E 是电子能量。

DBD 放电通常由交流电源驱动,施加电压的表达式为:

$$V(t) = V_m \cdot \sin(2\pi ft)$$

其中, V_m 是施加电压的幅值, f 是电源频率。放电电流 I_p 可以通过以下公式计算:

$$I_p = I_m - C_g \frac{dV_g}{dt} + C_g \left(1 + \frac{C_m}{C_b} \right) \frac{dV_m}{dt}$$

其中, I_m 是测量电流, C_g 是气隙电容, C_m 是外部监测电容, C_b 是介质阻挡电容。

等离子体形成和放电所消耗的功率 P 可以通过以下公式计算:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T I_p V_p dt = \frac{1}{T} \int_0^T I_m V_s dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_s dQ$$

其中, T 是交流电源的周期。

介质阻挡放电的模式可以分为汤森模式和辉光模式。汤森模式通常发生在低气压条件下,电子通过碰撞电离产生少量的离子和自由电子,形成微弱的放电。辉光模式则发生在较高气压下,此时电子能量更高,能够产生更多的活性粒子,放电更为强烈。在实际应用中,通过设计适合的放电装置、施加电压、调整气压和电压参数,控制放电模式,从而优化清洗效果。

3. 清洗机制

介质阻挡放电等离子体清洗的机制主要包括物理刻蚀和化学反应两个方面。物理刻蚀主要依赖于高能粒子(如电子和离子)对材料表面的撞击。假设高能粒子的通量为 Φ , 单位时间内撞击表面的粒子数为 N , 则物理刻蚀速率 R_{physical} 可以表示为:

$$R_{\text{physical}} = \Phi \cdot \sigma$$

其中, σ 是粒子与表面的相互作用截面。物理刻蚀能够去除表面的微小颗粒和杂质,但对有机污染物的去除效果有限。

化学反应机制主要依赖于等离子体中的活性自由基与表面污染物的化学反应。假设自由基的浓度为 $[R]$, 反应速率常数为 k , 则化学反应速率 R_{chemical} 可以表示为:

$$R_{\text{chemical}} = k \cdot [R] \cdot [\text{Pollutant}]$$

其中, $[\text{Pollutant}]$ 是表面污染物的浓度。化学反应能够有效去除有机污染物,生

成挥发性产物,从而实现表面清洁。

DBD 等离子体清洗技术涉及复杂的物理和化学过程,其放电公式和模型可以帮助优化放电参数,提高清洗效率和均匀性。通过精确控制施加电压、频率、气体组成和电极结构,可以实现高效、均匀的表面处理效果。

根据成本和有机污染物的清洗要求,采用不同的气体,等离子体清洗气体一般为氩气、氧气或者氢气等,清洗后产物多为二氧化碳、水蒸气等。大气环境 DBD 等离子体清洗装置所使用的工艺气体为空气时可以看成是 80% N_2 和 20% O_2 的混合气体,其反应体系中包括电子与中性粒子的电离和激发、电子与离子的复合、正负离子间的反应、中性粒子间的反应、离子与中性粒子间的反应等,过程非常复杂,关键部分的反应方程式有:

- (a) $e + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^+ + e$
- (b) $e + \text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}^*$
- (c) $e + \text{O} \rightarrow \text{O}^+ + 2e$
- (d) $e + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}^* + \text{O} + e$
- (e) $e + \text{O}^* \rightarrow \text{O}^+ + 2e$
- (f) $e + \text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2^+ + 2e$
- (g) $e + \text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2^* + e$
- (h) $e + \text{N}_2^+ \rightarrow 2\text{N}$
- (i) $e + \text{N}_2^+ \rightarrow \text{N} + \text{N}^*$

4. 结论

介质阻挡放电等离子体清洗技术以其高效、环保和可常压操作等优点,在多个领域得到了广泛应用。通过深入研究其清洗机制和技术,从放电机理、设备设计和工艺优

化等多个方面进行综合考虑,该技术已经实现广泛的应用和较高的性能。

未来的研究方向包括进一步提高能量效率、降低设备成本以及优化清洗效果的均匀性和稳定性。这些研究将为 DBD 等离子体清洗技术的进一步发展提供理论支持,并推动其在更多领域的应用。

5. 参考文献

- [1] 孟建兵.大气常压等离子体弧清洗理论与关键技术研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [2] 宋鹏,张维,陈雷,等. 不同电极结构下介质阻挡放电电离特征的试验研究[J].光谱学与光谱分析,2019,39(2):410-414.
- [3] 李平,穆海宝,虞春艳,等. 低气压板-板与多针-板电极结构甲烷气体介质阻挡放电的对比[J].高电压技术,2017,43(6):1816-1821.
- [4] 李旭贺,张健,周峰,等. 介质阻挡放电等离子体法制备优异光催化合成过氧化氢性能的氮空穴掺杂石墨相氮化碳[J].催化学报,2018,39(6):1090-1098.
- [5] 黄碧纯,杨岳,张晓明,等. 介质阻挡放电-光催化降解甲苯的实验研究[J].华南理工大学学报(自然科学版),2008,36(12):
- [6] 孟建兵,徐文骥,王续跃,等.大气压等离子体弧清洗反应动力学模型和参数的研究

- [J].应用基础与工程科学学报,2009,5:737-7453.
- [7] 李仁.半导体 IC 清洗技术[J].半导体技术,2003,28(9):44-47.
- [8] 龙乐.等离子体清洗及其在电子封装中的应用[J].电子与封装,2008(4):12-15.
- [9] 葛秋玲,李良海.微波等离子清洗在封装工艺中的应用[J].电子与封装,2014(2):5-8.
- [10] 金成刚.射频等离子体放电及材料处理研究[D].苏州:苏州大学,2014.
- [11] 白清顺,郭永博,陈家轩,等.超洁净制造的研究发展[J].机械工程学报,2016,52(19):145-153.
- [12] 聂磊,蔡坚,贾松良,等.微电子封装中等离子体清洗及其应用[J].半导体技术,2004,29(12):30-34.
- [13] 王伟乾,乔丽.氧气流向对等离子去胶的影响[J].轻工科技,2019,35(7):87-88.
- [14] 黄国平,陈科科,杨杰,圣宇,肖涛.等离子清洗在航空电子产品印制板组件三防工艺中的应用[J].航空电子技术,2024,55(3):67-72.
- [15] 王庆国.达因笔测试表面张力的方法[J].塑料包装,2008(5):49-50.
- [16] 王春生,叶荣坤,李志胜.等离子清洗的工艺探究[J].山西电子技术,2021(4):91-92.

GB/T 44787-2024《静电控制参数实时监控系 统通用规范》标准解读与应用浅析

董方成¹,胡子俊^{2,3},吴嘉鹏²,何积浩^{2,3},高志良^{2,3}

(1. 中国空间技术研究院北京 100094; 2. 北京东方计量测试研究所北京 100086;

3. 电子产品静电防护及应用技术北京市工程实验室北京 100086)

【摘要】随着我国生产制造自动化、智能化水平不断提高,运用智能化的方式进行现场数字化静电防护质量管控提升已成为必然趋势。本文对 GB/T 44787-2024《静电控制参数实时监控系統通用规范》进行深入解读,详细阐述了该标准的制定背景、主要内容,对比分析了国内外相关标准的差异,并提出了标准应用建议,更好发挥数字质量时代中航天型号等典型场景质量管理中静电智能化数据价值。

【关键字】静电控制参数;实时监控系統;数字质量;标准分析

Interpretation and Application of GB/T 44787-2024 "General Specification for Real time Monitoring System of Static Control Parameters"

Dong Fangcheng¹, Hu Zijun^{2,3}, Wu Jiapeng², He Jihao^{2,3}, Gao Zhiliang^{2,3}

(1. China Academy of Space Technology, Beijing, 100094, China;

2. Beijing Oriental Institute of Measurement and Test, Beijing, 100086, China;

3. Beijing Engineering Laboratory for Electronic Products Protection
& Application, Beijing, 100086, China;)

【Abstract】 With the continuous improvement of automation and intelligence in China's production and manufacturing, the use of intelligent methods for digital quality improvement of on-site electrostatic protection has become an inevitable trend. This article provides an in-depth interpretation of GB/T 44787-2024 "General Specification for Real time Monitoring System of Electrostatic Control Parameters". The background and main contents of the standard were elaborated in detail, and the differences between domestic and foreign standards were compared and analyzed. Suggestions for the application of the standard were proposed, and better leverage the value of electrostatic intelligence data in the digital quality management in typi-

cal scenarios such as aerospace models.

【Keywords】static control parameters, real time monitoring system, digital quality, standard analysis

1. 引言

随着制造业数字化转型和自动化采集设备的广泛应用,工业装备生产产生的质量数据,逐渐被全方位采集和多形式记录,数据量、数据类型、数据传输均得到大幅提升和扩展,不断采集和积累的质量数据将质量管理推进到大数据时代^[1,2]。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》指出:“深入实施智能制造工程,推动制造业高端化智能化绿色化,建设智能制造示范工厂,深入实施质量提升行动”。工业和信息化部办公厅关于印发《制造业质量管理数字化实施指南》的通知指出,要引导制造业企业深化新一代信息技术与质量管理融合,以数字化赋能企业全员全过程全方位质量管理,提升产业链供应链质量协同水平^[3]。中国空间技术研究院2024年12月发布《关于全面系统提升产品保证能力的规定》,要求加强型号产品研制状态和质量特性的数据采集,科研生产数字化建设需要围绕产品保证要素对生产阶段质量工艺管控环节的静电等关键参数数据予以更多关注。因此,静电监测管控作为科研、生产、运输、储存、使用等全寿命各环节中质量把控的关键要素,更加智能化、系统性的静电防护已成为生产制造行业的必然趋势^[4,5]。

国内现行静电标准,如 GB/T 37977.51《静电学第5-1部分:电子器件的静电防护

通用要求》、GB 12158《防止静电事故通用导则》、GB 13348《液体石油产品静电安全规程》等,主要聚焦于传统静电防护场景;国外相关标准如 IEC 61340 系列标准(国际电工委员会静电防护相关标准)、ASTM D257-14(美国材料与试验协会《绝缘材料直流电阻或电导试验方法》)等,GB/T 44787为我国自主制定,其标准内容的确定是基于目前静电控制参数实时监控系统的工业应用实践和产品规格书。

GB/T 44787旨在针对现今市场上越来越多的用于生产制造过程的静电实时监控系統做出最基本的标准规定,涉及目前绝大多数客户所关注的诸如报警、采集、通讯、看板等功能进行规范性定义,规定其功能和性能,描述相应监测方法,确保静电控制参数实时监控系統相关技术和产品公平、科学、良性地发展。

2. GB/T 44787 解读与分析

2.1 适用范围

该标准界定了静电控制参数实时监控系統(以下简称“监控系统”)的架构和静电控制参数类型,规定了监控系統的功能要求和性能要求,描述了对应的测试方法。主要适用于监控系統的研发、设计、生产、检验和使用。

2.2 静电控制参数的界定

该标准明确了静电控制参数是衡量静电控制水平的物理量,如对地电阻、表面电

阻、静电电压等。通过对静电起电控制、静电泄放回路电阻控制以及目标物上静电残余电压和衰减时间控制等方面的参数监测,实现全面的静电管控。例如,在电子行业,通过监测人员手腕带对地电阻、设备对地电阻等参数,确保静电能够及时泄放,防止静电积累对电子产品造成损害。

2.3 系统架构

该标准规定监控系统由设备层、通信层和平台层三层架构组成。设备层的监控终端负责采集现场静电控制参数数据,并将数据上传到管理平台,同时接收平台指令并在指标超标时发出告警信息。通信层实现协议转换、网络配置以及数据的汇聚与转发,确保监控终端与平台之间的数据联通,通信方式支持有线或无线。平台层完成数据的存储、分析、处理、控制及展示等功能,管理平台包含监听程序、数据库程序和应用程序,分别实现数据采集、存储和业务逻辑处理等功能。

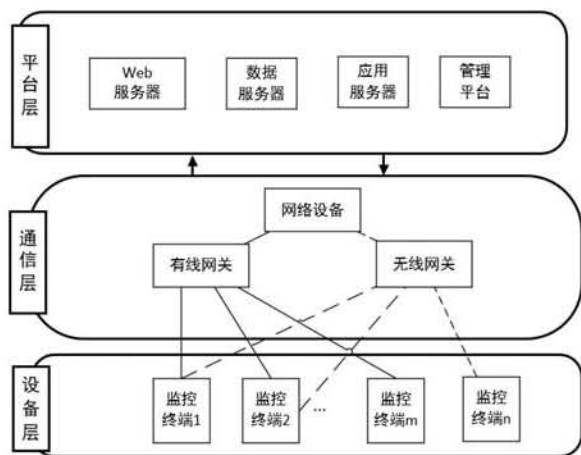


图1 静电控制参数实时监控系统架构

2.4 功能要求

(1) 监控功能:可针对多种静电控制参数进行准确、实时监测。工作模式分为实时

模式和点检模式。实时模式可监测工作人员腕带佩戴状态及对地电阻、设备对地电阻、工作台面/产品表面静电电压等;点检模式可监测锁付/拆焊工具的对地电阻、漏电流等。当被监测参数超过设定限值时,系统能及时报警并进行相应控制处理,如报警联动控制和异常闭环处理。

(2) 报警功能:当静电控制参数超出设定限值时,系统即时警示并引导用户故障定位排除。报警上下限可根据用户需求或行业标准自定义设置,报警方式多样,如监控终端声光报警、管理平台邮件警示等,且在监控终端与管理平台失去联系时仍能保证警示有效。报警信息上传优先,监控终端还有报警升级机制,并建立了参数异常处理的闭环逻辑。

(3) 通信功能:实现不同监控终端与系统的互联、互通以及双向通信,保证数据传输的及时性和完整性。通信网络遵循通用的通信接口标准和协议规范,涉及数据加密时采用安全可靠的加密方式。监控终端与网关之间可采用有线或无线通信,网关与监听程序之间采用有线通信,且通信网络宜支持断点续传。

(4) 数据存储功能:数据库支持实时数据和历史数据的准确快速存储、查询、备份、管理,支持多用户、多线程工作模式,数据存储容量符合实际应用场景和组网规模的数据吞吐量要求。

(5) 管理平台功能:完成对监控系统内数据、报警等信息的集成及处理,对联网设备、用户等进行综合展示。能反映系统运行情况,显示各监控参数实时状态,区分正常、

报警、故障等状态,支持可视化管理。实时接收报警信息并分发给相应用户终端或系统,提供数据统计分析功能并支持报表导出,可进行访问权限管理,具备监控终端管理能力,且有数据对外接口以便与其他管理系统对接。

(6) 自诊断功能:系统对硬件和软件进行自诊断,当出现系统自身故障时,输出故障类型并警报。自诊断内容包括参数漂移、报警系统和显示故障、通信线路故障、电源故障等。

(7) 其他功能:系统宜具备用户现场的软件拓扑布局功能以及用户的软件参数自设定、软件界面自编辑功能。

2.5 性能要求

对监控系统及监控终端的性能要求和指标限值由用户和制造方根据实际情况协商剪裁,并在合同或技术协议中明示。

监控系统要求同时接入监控终端容量和界面符合用户需求,数据库能存储 6 个月以上数据,监控终端与管理平台之间的状

态或数据延迟时间符合用户需求,且网络稳定运行 6 个月以上。

监控终端在电阻监测、静电电压监测、目标位置残余电压监测、温湿度监测等方面都有具体的误差要求和稳定监控时间要求。例如,电阻监测误差小于 10%,静电电压监测误差小于 10%,温度监测误差小于 1℃,相对湿度监测误差小于 5%等。

3. 静电智能监测产品分析

随着物联网技术的快速发展,传统静电防护设备也踏上了智能化、网络化发展的“快车道”。依托于强大的网络技术与计算机技术,各种设备可以入网进行“24×7”不间断监测,系统响应灵敏准确,摒弃传统监测的依靠人力、各种纸质记录等低效率、繁杂的管理方式^[6,7]。目前,各大静电设备厂商已经推出各自的监测网络,设备留有 485、232、RJ45 等有线 7 通讯接口,甚至有些厂商开发出 Lora、ZigBee、WiFi 等无线通讯方式,组成强大的在线监测网络。静电智能监测产品网络架构如图 2 所示:

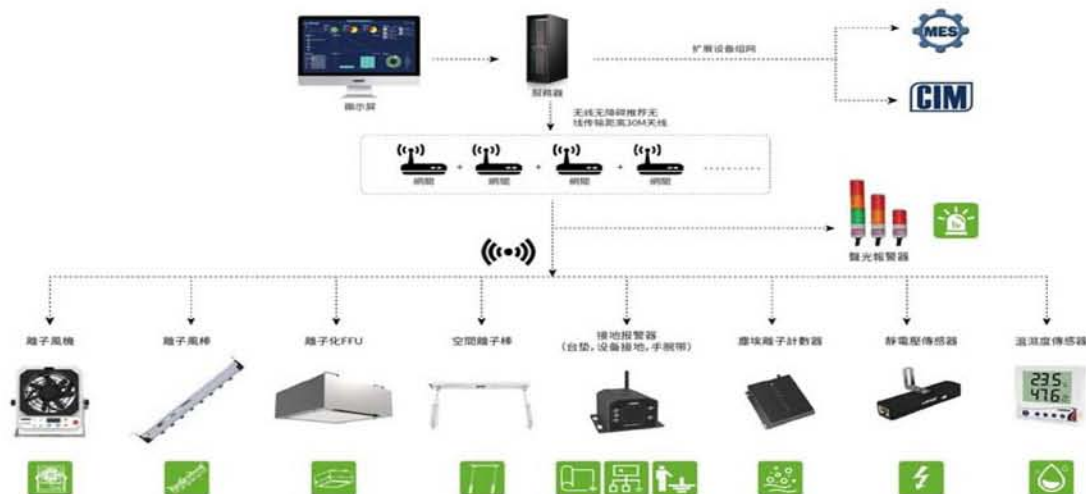


图 2 静电智能监测产品网络架构

3.1 产品系列化

各静电产品生产厂商为更多地覆盖静电防护场景的适应性,均推出了一系列静电防护产品/设备。如:针对人员入场静电防护,推出人体综合测试仪与一体式闸机,在具有进入 EPA (防静电工作区) 权限的人员通过静电测试后,方可进入;人员进入 EPA 后需要操作 ESDS 器件,为了人员可靠接地,配备腕带连续监测仪,人员佩戴腕带后可持续监测接地质量。为了去除绝缘物上的静电,避免电荷积聚,配备离子风机/离子风棒等设备进行控制吹扫;设备、台垫等需要可靠接地,在达到等势的同时,产生的静电可以快速释放,接地质量就显得尤为重要,各厂商也陆续推出了接地监测仪,来监测设备接地、母线接地的接地电阻与电压。

3.2 功能数字化

各种检测产品的竞相发布,静电防护已从传统的无监测、模拟量值检测设备,直至目前大力发展的各项检测功能的数字化。数字化检测产品的优势在于:

(1) 将测量结果以数字化形式呈现,显示更直观;

(2) 数字化的测量结果可容易地增加阈值判定,直接给出测量结果与标准给出的范围考核^[7];

(3) 易于功能扩展,如:添加超阈值报警功能,用户不用高频观察测量结果,只需关注是否产生报警即可;

(4) 结果便于远距离传输。模拟设备由于不具有远程接口,只能通过摄像头等形式,将拍摄到的测量结果以照片、视频的形式传输,虽然有些传感器、设备具有模拟量变送结果,如 0~5V、4~20mA 变送量值,但远距离传输时,易受干扰,影响结果准确性;

(5) 易于测量结果的数字加工,如结果与报告给出的修正值相加,或以 $kx+b$ 进行线性缩放等等。

3.3 测控结合化

静电测试的目的是为了更好的防护,控制参数处于合理理想的阈值范围内(符合标准要求)。人员不规范操作、易耗产品出现性



图3 静电防护可视化

能衰减、引入未知的其他静电源(一般由绝缘物引入)、环境温度/湿度变化^[9],等等问题的出现,较好的监测产品可以触发报警,提醒用户关注超差点位,但是处理还得人为进行干预。有些生产厂家除了做好监测功能,已经进行了一定程度的测控结合。如:电场传感器与离子风机的测控闭环。当电场传感器检测到被测出现电场超差后,关联离子风机进行及时吹扫,时刻保证被测处于静电安全状态。

测控结合技术在静电测试中的特点在于:

(1) 闭环控制,减少人员干预。监测设备发生测量结果超差后,会及时启动控制设备进行相应操作,免去了人员进行干预;

(2) 快速响应,解决滞后处理。监测设备产生报警后,控制设备随即介入,通过控制干预,将问题及时排除;

(3) 产品组合后还可监测控制设备是否产生故障。如:电场监测仪+离子风机+电场监测仪的三重组合方式,当电场监测仪产生超差报警,离子风机干预,电场监测仪再次检测,若依然存在超差,可反馈用户离子风机可能失效。

(4) 节省电力消耗。避免控制设备长时间无谓的开启造成消耗,当监测超差时,再启动控制设备,消除后关闭控制设备,可节省能源。

4. 标准应用建议

随着人工智能技术越来越广泛的应用,静电防护数字化、网络化、智能化管控已经成为支撑我国工业生产制造新质生产力发展的重要方面,数字质量时代更加需要注重

工业生产过程中关键静电数据实时采集、分析、预警、处置、预测等功能的更好实现,并可在航天型号产品等典型应用场景中建立数字质量管理体系以实现静电质量数据分析与更好应用^[9]。GB/T 44787 应用建议如下:

(1) 在系统选型与设计阶段:企业应依据标准要求,结合自身生产工艺特点和静电控制需求,选择符合标准的静电控制参数实时监控系統。例如,电子企业需重点关注对电子产品静电防护相关参数的监测功能,石油化工企业则要着重考虑对易燃易爆介质静电参数的监测要求。在系统设计时,要确保系统架构满足标准规定,合理规划设备层、通信层和平台层的配置,保证系统的可靠性和稳定性。

(2) 在系统使用与维护阶段:严格按照标准的功能要求和性能要求,对监控系统进行日常使用和维护。定期对监控终端进行校准,确保监测数据的准确性。关注系统的报警信息,及时处理参数异常情况,按照标准建立的异常处理闭环逻辑,完善故障排查和解决机制。同时,加强对管理平台的维护,保证数据存储、分析和展示等功能的正常运行。定期对系统的监测数据准确性、报警响应及时性、通信稳定性等质量指标进行统计分析,形成质量报告,针对发现的质量问题及时采取纠正和预防措施,确保系统持续符合标准要求以及企业质量需要^[10]。

(3) 人员培训与宣贯落实方面:对涉及监控系统操作和管理的人员进行标准培训,使其熟悉标准内容,掌握系统的正确使用方法和故障处理流程。培训内容应包括静电控

制参数的含义、系统架构原理、各项功能的操作以及性能指标的要求等,提高员工对静电防护技术指标、质量管控、数据分析与应用等相关标准的理解和执行能力。

参考文献

- [1] 王国庆,熊焕,侯俊杰.数字时代的航天系统工程[J].机械工程学报,2024,60(14):206-214.
- [2] 贾丰胜,王禹铭,游佳琪,等.航天产品质量问题数据应用研究[J].质量与可靠性,2022,(01):36-41.
- [3] 田巧萍,万展强.航天复杂产品过程质量数据管控和应用研究[J].数字化转型,2025,2(05):98-107.
- [4] 高志良,王若珏,何积浩,等.航天电子产品静电防护管理体系要求系列标准应用实践[J].航天标准化,2023,(04):15-19+24.
- [5] 季启政,高志良,刘尚合,等.我国静电防护标准发展现状及对策建议[J].安全与电磁兼容,2022,(01):9-14.
- [6] 李慧静,郑俊哲.电子企业制造过程中的

静电防护研究[J].电子质量,2024,(01):80-84.

[7] 崔伟光,高志良,庞健.航天电子产品静电防护问题案例选编[M].中国宇航出版社,2024:193-199.

[8] 刘波文,乔畅君,顾大元.洁净控制与静电防护实时监测系统[J].自动化博览,2023,40(10):76-78.

[9] 杨双进.航天工程质量管理数字化创新与实践[J].中国质量,2023,(03):30-33.

[10] 王志梅,鲍智文,王禹铭,等.航天质量大数据整理与挖掘应用研究[J].质量与可靠性,2021,(01):43-47.

作者简介:董方成,男,硕士,高级工程师,主要研究方向为航天质量和产品保证管理、静电防护质量管理。

通讯作者简介:胡子俊,女,硕士,工程师,主要研究方向为静电防护智能化技术研究。

基金项目支持:中国空间技术研究院工艺能力提升工程共性工艺研究项目(20241113)。

新会员单位介绍

乐清市仁威电子有限公司

乐清市仁威电子有限公司一家专注于防静电产品与净化设备领域的专业服务商,自公司创立以来,始终秉持“科技赋能洁净空间,品质守护生产安全”的理念,深耕防静电及净化设备研发、生产与销售领域,以创新驱动发展,为客户全场景、高品质的防静电、无尘洁净车间环境提供系统解决方案。

公司核心业务涵盖防静电系统产品与净化设备两大板块。

1.在防静电系统产品方面,我们精心打造了一系列性能卓越的产品,如防静电周转箱、防静电吸塑包装、防静电工作服、防静电抗震棉及防静电劳保用品等,这些产品广泛应用于电子制造、半导体、航空航天等对静电防护要求极高的行业,能够精准控制静电产生与积聚,有效保护精密电子元件,提升产品生产良率。

2.在净化设备领域,我们提供高效空气过滤器、风淋室、洁净工作台、FFU 风机过滤单元等产品,从百级到万级洁净室的整体设计与施工,到局部净化环境的搭建,均可满足生物医药、食品加工、精密仪器制造等行业对洁净生产环境的严苛需求,确保生产过程免受粉尘、微生物等污染物干扰,为高品质产品生产保驾护航。

多年来,我司凭借卓越的产品质量、专业的技术服务与良好的商业信誉,与众多知名企业合作,建立长期稳定合作关系,赢得了良好的口碑,树立了优质的品牌形象。

未来,公司将继续以科技创新为引擎,以客户需求为导向,不断提升产品与服务品质,致力于成为全球防静电与净化设备行业的优秀企业,为行业客户创造更大价值。

地址:浙江省了乐清市柳市镇柳江路3999号

邮编:325600

电话:0577-61518828

邮箱:12602722487@qq.com

网站:www.rwesd.com

北京中科飞龙传感技术有限责任公司

北京中科飞龙传感技术有限责任公司成立于2015年12月,是经中国科学院批准设立的专业从事先进传感器及配套系统等研发、生产、销售的国家高新技术企业。公司核心技术源于中国科学院空天院传感技术国家重点实验室,技术自主可控,达到国际领先水平。

公司科研团队历经近20年的创新研究,突破了高性能MEMS(微机电系统)电场传感器设计、制造、封装、测试及可靠性等多项关键技术,发明了国际最高分辨力的MEMS电场敏感芯片,并在国际上首次实现了MEMS电场传感器的应用。

目前,公司已与近百家企业、科研院所建立了产品销售、科研合作及商务联系,业务涵盖航空航天、国防军工、气象雷电、电力电网、石油石化、工业生产、危化品加工运输、科学研究等多个领域。主要产品包括:雷电系列、气象系列、静电系列、新能源系列、电力电网系列、高空系列等数十余种先进传感器及智能化服务系统。

截止 2025 年 3 月,公司及核心骨干技术团队已申报专利 114 项、发明专利 31 项、实用新型专利 28 项、国际专利授权 4 项(美国 1 项、欧洲 1 项、德国 1 项、奥地利 1 项)、软件著作权 138 项。主导制定国家军用标准计划 1 项(GJB 10750-2022)、主导制定国家标准 1 项(GB/T35086-2018)、主导制定 MEMS 电场传感器 IEC 国际标准(IEC 62047-44:2024)、参与制定五项行业标准。从 2000 年至今,公司及核心团队承担近 20 项国家课题研究工作。

地址:北京市海淀区四季慧谷国家网络安全产业园 46 号楼

邮编:110195

电话:秦经理:13120023111、马经理:18910709889(气象 & 电力)

杨经理:13883182070(静电)

邮箱:zkfl@tflying.cn

网站:www.tflying.cn

常州方耀自动化科技有限公司

常州方耀自动化科技有限公司,是国内研发制造包装机械涂布类涂布机的科研型企业。公司坐落在风景秀丽、人文荟萃,具有二千多年文化底蕴的古城—江苏常州,公司主要有以 PE 膜,光学电子膜,型材保护膜,板材保护膜,压线膜,广告耗材,喷绘材料,车贴,离型,反光材料,PET 膜,PET 片材,PP,Ps,铝箔,无纺布等纸塑金属类的涂布机。

本公司拥有一批从事涂布分切行业十余年的专业设计及调试人员,有丰富的实战经验,精心开发胶粘带整厂设备与推广,生产制造各类专业设备,可适应不同层次,客

户可根据自身实际选用高精度、高效率、自动化、先进型或经济型、实用型等机械设备。

本公司拥有完善的质量控制检测体系和加工设备,有大型磨床,刨床,车床,铣床,产品质量稳定,深受广大用户信赖。

地址:常州市武进区洛阳镇虞桥村

邮编:213000

手机:13961455202

电话:0519-83602202-801

邮箱:85895907@qq.com

网址:www.czfangyao.com

会员单位介绍

江苏通路新材料科技股份有限公司

江苏通路新材料科技股份有限公司是专注从事设计、研发、生产、销售、安装各种系列防静电地板和全钢 OA 网络地板、防静电 PVC 地板、硫酸钙地板、全铝架空地板及全钢通风地板的企业。

公司已通过 ISO9001 国际质量体系认证及 ISO14001 环境体系认证,本公司生产的防静电地板系列产品符合美国 CISCA 标准、欧盟 CE 认证、英国 MOB 标准及国家 GB/T36340-2018 标准,各项指标检测均已达到或超过国际相关标准。公司具备先进的生产设备,成熟的生产工艺,拥有雄厚技术的研发、生产、销售、安装团队,不断研发新产品以及提升产品质量。

公司自主研发生产的防静电通风地板系列,适用于各种级别的净化车间、机房的通风系统,是国内生产能力强、设计品种全的企业。产品外型美观、质量稳定,远销日

本、新加坡、马来西亚、台湾、中东等世界八十多个国家和地区,以及国内各大机房装饰公司、净化公司和房地产开发商,获得客户一致好评。

地址:常州市武进区横山桥镇工业园区南区星辰路 30 号

邮编:213119

电话:13961156272

邮箱:tonglu@tl-floor.com

网址:www.xf-floor.com

天津捷瑞超净工程技术有限公司

天津捷瑞超净工程技术有限公司是天津新技术产业园区从事防静电、无尘系列产品的开发、生产、销售及服务的新技术企业,公司汇聚了一批专业技术人员为客户提供防静电、净化的方案设计和工程施工。

公司生产的防静电及净化室聚氨酯工作椅深受国内外广大用户的欢迎,畅销欧美和东南亚多个国家,公司拥有先进的工作椅和工作台的生产设备,严格的检测手段、先进的测量仪器。确保了产品的质量。

同时,我公司还生产系列静电检测仪和静电消除设备,并代理马来西亚及韩国的净化耗材。

地址:天津市华苑产业园区竹苑路 6 号厂房 D 座 301

邮编:300384

电话:13802076125

联系人:谢静

邮箱:vendy2009@126.com、jerry@protec-esd.com

网址:www.protec-esd.com

上海慧方工位器具有限公司

上海慧方工位器具有限公司是行业内非常知名的防静电系统解决方案服务商及生产商。拥有一批经验丰富的项目经理和非常专业的技术团队,采用非常先进的德国防静电技术及生产设备,产品通过反复测试,慧方全体员工秉承全力以赴的服务理念,同时坚持品质、不断创新,为您的工厂或车间提供全面的解决方案,用我们的专业知识为您提供专业的服务。

慧方公司专业生产防静电工作台,承重型工作台、工具车、防静电装配合、组装台、防静电工作椅、防静电工具柜、防静电推车,防静电货架,防静电传输线、防静电生产线等产品。所有防静电产品均严格按照国军标 GJB3007A-2009、欧盟 EN61340 等防静电标准,且符合航天电子行业高标准的静电防护技术要求。

慧方防静电产品采用人性化设计,模块化组装,致力于企业工作环境的提升,注重人体工程学需求,提高操作者的工作效率,增加工作的舒适度。我们不仅关注产品的研发、制作,更关注各个环节的质控,我们对每一个出厂的产品进行严格的检查,并确保避免在运输过程中任何损伤的可能性,让它能完好无损的送到您身边是我们始终如一的坚持。

让我们以优质的产品、先进的技术为您提供完美的服务。

地址:上海市顾戴路 2582 号

邮编:201100

电话:021-54800188

手机:18221697025

邮箱:sales2@ihuifang.com.cn