

团 体 标 准

T/CPIA 0065—2024

异质结电池用等离子体增强化学气相沉积 (PECVD) 设备

Plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) equipment used for
heterojunction photovoltaic cells

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

2024 - 03 - 10 发布

2024 - 03 - 15 实施

中国光伏行业协会 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 工作环境及工作条件 2

5 设备要求 2

 5.1 外观 2

 5.2 安全 3

 5.3 主要功能 3

 5.4 性能 3

6 试验方法 4

 6.1 基本性能 4

 6.2 薄膜基本参数 5

7 检验规则 7

 7.1 检验类型 7

 7.2 交付检验 7

8 标志、包装、搬运和运输、贮存 8

 8.1 标志 8

 8.2 包装 8

 8.3 搬运和运输 8

 8.4 贮存 9

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会提出。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国电子技术标准化研究院、理想万里晖半导体设备（上海）股份有限公司、隆基绿能科技股份有限公司、湖南红太阳光电科技有限公司、北京北方华创微电子装备有限公司、常州捷佳创精密机械有限公司、无锡帝科电子材料股份有限公司、杭州福斯特应用材料股份有限公司、江苏乾景睿科新能源有限公司、浙江润海新能源有限公司、江苏爱康能源研究院有限公司。

本文件主要起草人：王赶强、王慧慧、庄天奇、马哲国、卢俊雄、吴易龙、江伟、朱海剑、张洪旺、周光大、朱晨、刘松民、周春华、谈剑豪。

CPIA

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

异质结电池用等离子体增强化学气相沉积（PECVD）设备

1 范围

本文件规定了本征薄膜异质结电池用等离子体增强化学气相沉积（PECVD）设备（以下简称“PECVD设备”）的术语和定义、工作环境、设备要求、试验方法、检验规则以及包装、标志、搬运和运输、贮存等。

本文件适用于本征薄膜异质结电池用PECVD设备。产品主要用于沉积多种薄膜材料，例如非晶硅、微晶硅、二氧化硅、氮化硅薄膜等本征薄膜材料等。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB 2894—2008 安全标志及其使用导则
- GB/T 5080.7 设备可靠性试验恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 8196—2018 机械安全 防护装置 固定式和活动式防护装置设计与制造一般要求
- GB/T 11164—2011 真空镀膜设备通用技术条件
- GB 12348—2008 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 25915.1—2021 洁净室及相关受控环境 第1部分：空气洁净度等级
- GB/T 30116 半导体生产设施电磁兼容性要求
- GB 50052—2009 供配电系统设计规范
- GB 50231—2009 机械设备安装工程施工及验收通用规范
- GB 50646—2020 特种气体系统工程技术标准
- SJ/T 1552 电子工业专用设备机械装配技术要求
- SJ/T 1635 电子工业管路的基本识别色和识别符号
- SJ/T 10674—1995 涂料涂覆通用技术条件
- SJ 20984—2008 化学气相沉积设备通用规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

等离子体增强化学气相沉积 plasma enhanced chemical vapor deposition; PECVD

利用微波、射频、高频等电源系统，在特定条件下激发气体生成等离子体（该气体也称气态前驱物，它在电磁场的作用下发生离子化）形成激发态的活性基团，活性基团扩散到基片表面并在一定温度下发生化学反应，生成物在基片表面沉积形成所需薄膜的一种工艺技术。

3.2

板式等离子体增强化学气相沉积设备 plate type plasma enhanced chemical vapor deposition equipment

利用板式等离子体增强化学气相沉积法(PECVD)制备薄膜的设备。

注：一般采用微波、射频、高频等电源系统，将射频功率输送到反应腔内的两个平行或者两个近似平行的电极板之间，通入反应气体，在一定的压强范围内，两个电极之间电感或者电容耦合激发反应气体成为等离子体，局部形成稳定的等离子体区域内实现化学反应，在基片上沉积出所期望的薄膜材料。

3.3

本征薄膜异质结电池 heterojunction crystalline silicon photovoltaic cell

由掺杂非晶硅或微晶硅薄膜发射区、极薄硅薄膜本征层和晶体硅基区构成的异质结电池。

3.4

非晶硅薄膜 amorphous silicon thin film

结构特征为短程有序而长程无序的 α -硅。

3.5

微晶硅薄膜 microcrystalline silicon thin film

介于非晶硅和单晶硅之间的一种混合相无序半导体材料。

4 工作环境及工作条件

PECVD设备的工作环境及工作条件应满足以下要求：

- a) 环境温度：(20~30)℃；
- b) 相对湿度：(40~60)%；
- c) 环境净化等级：PECVD主设备运行环境应符合GB/T 25915.1—2010规定中的ISO 7级，与硅片运输传送相关的自动化区域应符合ISO 6级；一些特殊的工艺应在其规定的环境条件下进行；
- d) 大气压强： $8.6 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 1.06 \times 10^5 \text{ Pa}$ ；
- e) 地面平整度：一套机台范围内，地面平整度 $\leq 3 \text{ mm/m}$ ；
- f) 电源：
 - 1) 三相五线交流 $380(\pm 10\%) \text{ V}$ ；
 - 2) 频率 $50(\pm 1\%) \text{ Hz}$ ；
 - 3) 一般接地电阻 $\leq 4 \Omega$ 。
- g) 有毒排气：宜燃烧水洗式尾气处理装置，装置应能同时处理：可燃性气体、腐蚀性气体、工艺外腔大气；应具有抗粉尘堆积、抗腐蚀能力；
- h) 尾气处理装置的吸气压力 $\leq -700 \text{ Pa}$ ；
- i) 无毒排气：管压 $\leq -200 \text{ Pa}$ ；
- j) 厂务系统应具备特殊气体泄漏侦测、监控和报警系统，应符合GB 50646—2020的规定；
- k) 冷却水厂务应满足：
 - 1) 电导率(25℃)： $10 \text{ us/cm} \sim 20 \text{ us/cm}$ ；
 - 2) pH值：6.5~7.5；
 - 3) 入口温度： $21^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ ；
 - 4) 入口压力： $3.5 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 4.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ ；
 - 5) 压差： $2.5 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 3.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。
- l) 工艺气体配置：宜包含硅烷、氢气、硼烷、磷烷、三氟化氮、氩气、氮气、甲烷、二氧化碳等；
- m) 其他环境要求应按照GB/T 11164—2011的相关规定执行。

5 设备要求

5.1 外观

PECVD设备外观及结构要求如下：

- a) 设备表面不应有明显的凹凸不平、划伤、锈蚀等缺陷，零部件应完整无缺；
- b) 表面涂覆的零部件，应符合SJ/T 10674—1995的规定；
- c) 应无表面剥落、划伤等痕迹；

- d) 所有气体管道应排布整齐合理，各种管路的涂色符合 SJ/T 1635 的规定；
- e) 设备标识和标志应清晰、准确；
- f) 设备设计应合理，便于操作、装拆、维修；
- g) 设备应根据排废要求设置有毒气体和一般气体的排气接口；
- h) 设备各运动机构应运转灵活，无卡滞现象，无异响；
- i) 设备紧急停止和关闭按钮应分布合理。

5.2 安全

为保证设备安全使用，需要达到以下要求：

- a) 设备设计安全、防护装备等设计应符合 GB/T 8196—2018 的规定；
- b) 设备安装施工规范应符合 GB 50231—2009 的规定；
- c) 电气连接及安全应符合 GB/T 5226.1—2019 的规定。

5.3 主要功能

5.3.1 沉积薄膜功能

异质结板式 PECVD 设备的沉积工艺所需薄膜应满足以下要求：

- a) 金属沉积腔室中采用平板型或者类平板型的电极，腔室中的工艺气体在两个极板之间的交流电场的作用下在沉积腔内形成等离子体。多片硅片被放置在平板式的载板上，后随载板进入沉积腔室，在沉积腔体内等离子体作用下沉积相应薄膜至硅片上；
- b) 加热温度要求：150℃~300℃连续可调，具备温度自调节功能；
- c) 压力控制要求：具有压力自动控制功能。

5.3.2 自动化功能

自动化功能应满足：

- a) 满足 PECVD 工艺设备的自动化需求，可实现 PECVD 工艺载板自动循环、硅片承载花篮内部循环、工艺前及工艺后硅片自动上下料、硅片自动翻片功能；
- b) 硅片完成所有工艺后需有后端检测设备，对不符合要求的半成品自动完成剔除动作；
- c) 自动线要求能自动识别各制程阶段不同的硅片承载花篮，不可混用；
- d) 自动线具有可选的手动送片功能，工艺过程中可选半自动、手动控制功能；
- e) 具有故障诊断、报警和保护功能。

5.3.3 软件控制功能

软件控制功能应满足：

- a) 软件具有分级登录及管理权限；
- b) 设备运行具有自动、半自动及手动模式；
- c) 设备可同时存储多个工艺流程可供选择，并默认使用上一次的流程；
- d) 错误/故障信息即时反馈，同时报警灯以不同颜色的报警相关信息；
- e) 数据存储及查询功能。

5.4 性能

5.4.1 基本性能参数

设备基本性能参数及检测方式应满足表 1 要求。

表1 设备基本性能参数

序号	设备规格	指标
1	设备运行噪音	≤85 dB

表 1 设备基本性能参数（续）

序号	设备规格	指标
2	气路管道漏气率	$\leq 1 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$
3	真空腔体氦检漏率	$\leq 5 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$
4	真空室极限压力	$\leq 0.5 \text{ Pa}$
5	工艺腔压升率	$\leq 12.6 \text{ Pa/h}$
6	设备表面温度	$\leq 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$
7	腔内工艺温度范围	$150 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$
8	腔内单点温度稳定性	工艺腔温度波动 $\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
9	最大升温速率	$\leq 1 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$
10	最大降温速率	$\leq 0.6 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$

5.4.2 制备薄膜基本参数

PECVD 设备的工艺性能应满足表 2 要求。

表2 PECVD设备工艺性能要求

序号	工艺要求	数值
1	片内膜厚均匀性（每一个腔室）	非晶 $I < 8 \%$ ，微晶 $N\&P < 20 \%$
2	片间膜厚均匀性（单载板内）	非晶、微晶 $< 5 \%$
3	批次膜厚均匀性	非晶、微晶 $< 5 \%$
4	片间隐含开路电压均匀性	$< 1 \%$ ，不同电压开路电压（Suns-Voc）
5	批次隐含开路电压均匀性	$< 1 \%$ ，不同电压开路电压（Suns-Voc）

6 试验方法

6.1 基本性能

6.1.1 运行噪音

设备正常运行时在距离设备正前方 1 m 处，使用声级计（精确度不低于 1 dB）测量的等效连续 A 声级噪声。

6.1.2 路管道漏气率

使用质谱型氦检测（检测精确度不低于 $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ ），采用内向测漏法测定。

6.1.3 真空腔体氦检漏率

使用质谱型氦检测（检测精确度不低于 $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ ），采用内向测漏法测定。

6.1.4 真空室极限压力

对反应腔室连续抽真空，观察真空压力计（精确度不低于 0.1 Pa）读数变化，当真空度数值不再明显变化时，记录此数值。

6.1.5 压升率

对反应腔室连续抽真空，观察真空压力计读数变化，当真空度数值不再明显变化时，关闭与真空室连接的真空阀，待 5 分钟真空室压力上升至 P_1 时，开始计时 t_1 ，经过一段时间到达 t_2 后记录 P_2 数据，然后按下面公式（1）计算压升率：

$$M = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

M ——压升率，单位为帕每小时（Pa/h）；

P_1 ——腔体初始真空压力，单位为帕（Pa）；

P_2 ——腔体最终真空压力，单位为帕（Pa）；

t_1 ——压力记录开始时间，单位为小时（h）；

t_2 ——压力记录结束时间，单位为小时（h）。

6.1.6 表面温度

使用表面温度传感器，监控设备表面温度，使之保持在 60℃ 以下。

6.1.7 腔内工艺温度范围

腔内工艺温度应满足以下要求：

- a) 使用温度传感器，监控腔内工艺温度，使之保持在工艺所需温度；
- b) 工艺腔温度调节范围为 150℃～300℃。

6.1.8 腔内单点温度稳定性

将温度设置为设备控温范围内的某一适当值，当温度达到设定值后稳定 30 min，根据 SJ/T 20984—2008 中 4.5.4.3c) 的计算方法，计算温度单点稳定性。

6.1.9 最大升温速率

将温度设置为设备控温范围内的某一适当值，记录开始升温至温度达到设定值的时间，计算升温速率。

6.1.10 最大降温速率

将温度设置为设备控温范围内的某一适当值，记录开始降温至温度达到设定值的时间，计算降温速率。

6.2 薄膜基本参数

6.2.1 片内膜厚均匀性

采用玻璃基底，在产线工艺下制备 100 nm 厚度的薄膜，单载板内取 9 片玻璃（取片位置见图 2），每片玻璃用椭偏仪测 9 点薄膜厚度取平均值（取点位置见图 3，周边四点中心轴线对称，距离边缘 10 mm），按照公式（2）计算片内膜厚均匀性：

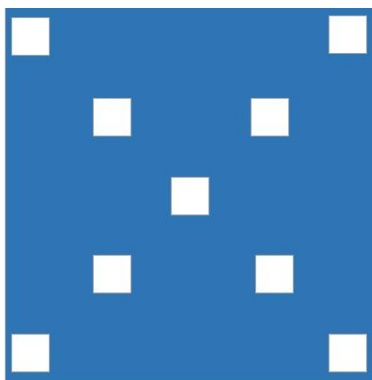


图2 取9片位置示意图

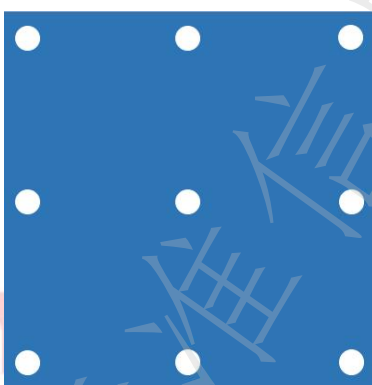


图3 单片膜厚测量位置示意图

$$U(p-t-p) = (t_{\max} - t_{\min}) / (t_{\max} + t_{\min}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$U(p-t-p)$ ——片内膜厚均匀性, 单位为百分率 (%);

$t_{\max}$ ——片内最大膜厚, 单位为纳米 (nm);

$t_{\min}$ ——片内最小膜厚, 单位为纳米 (nm)。

6.2.2 片间膜厚均匀性

在采用完全相同的工艺条件和参数完成沉积工艺的同一批基片中, 取9片作为测量样品。一般在同一载板内选取中心、中间和四角位置镀膜后的9片硅片作为测量片(见图2), 每片样品采用椭偏仪测量膜厚。按照公式(3)计算片间膜厚均匀性:

$$U(w-t-w) = (T_{\max} - T_{\min}) / (T_{\max} + T_{\min}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$U(w-t-w)$ ——片间膜厚均匀性, 单位为百分率 (%);

$T_{\max}$ ——单片平均最大膜厚, 单位为纳米 (nm);

$T_{\min}$ ——单片平均最小膜厚, 单位为纳米 (nm)。

6.2.3 批次膜厚均匀性

在采用完全相同的工艺条件和参数完成沉积工艺的若干批基片中, 12个小时内每4小时抽测一片载板, 每片载板取9片硅片, 每片采用椭偏仪测量9点的膜厚, 取批次平均值, 按照公式(4)计算批次膜厚均匀性:

$$U(b-t-b) = (Tk_{\max} - Tk_{\min}) / (Tk_{\max} + Tk_{\min}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$U(b-t-b)$ ——批次膜厚均匀性, 单位为百分率 (%);

$Tk_{\max}$ ——单载板平均最大膜厚, 单位为纳米 (nm);

$Tk_{\min}$ ——单载板平均最小膜厚, 单位为纳米 (nm)。

6.2.4 片间隐含开路电压均匀性

同一载板内取 9 片覆膜硅片，每片测隐含开路电压 $iVoc$ (implied open circuit voltage)，再按公式(5)计算其片间均匀性：

$$iVoc(w-t-w)=[iVoc_{max}-iVoc_{min}]/[iVoc_{max}+iVoc_{min}]\times 100\% \cdots \cdots (5)$$

式中：
 $iVoc(w-t-w)$ ——片间*iVoc*均匀性，单位为百分率（%）；
 $iVoc_{max}$ ——片内*iVoc*的最大值，单位为毫伏（mV）；
 $iVoc_{min}$ ——片间*iVoc*的最小值，单位为毫伏（mV）。

6.2.5 批次隐含开路电压均匀性

12 个小时内，每 4 小时抽测 1 载板，每载板按图 2 位置取 9 片覆膜硅片，每片按图 3 位置测 9 点隐含开路电压 $iVoc$ ，取批次平均值后，按公式(6)计算其均匀性：

$$iVoc(b-t-b)=[iVoc_{ave-max}-iVoc_{ave-min}]/[iVoc_{ave-max}+iVoc_{ave-min}]\times 100\% \cdots \cdots (6)$$

式中：
 $iVoc(b-t-b)$ ——批次间*iVoc*均匀性，单位为百分率（%）；
 $T_{ave-max}$ ——批次间*iVoc*平均值的最大值，单位为毫伏（mV）；
 $T_{ave-min}$ ——批次间*iVoc*平均值的最小值，单位为毫伏（mV）。

7 检验规则

7.1 检验类型

PECVD 设备的检验为交付检验。

7.2 交付检验

- 7.2.1 交付检验应在设备运至客户指定地点后，在用户现场安装、调试后进行。
- 7.2.2 交付检验项目应符合表 3 的规定。当所有检验项目均满足表 3 的要求时，则判定合格；否则判定不合格。

表 3 检验项目

序号	检验项目	要求	检验方法
1	外观	5.1	5.1
2	安全	5.2	5.2
3	运行噪音	5.4.1	6.1.1
4	气路管道漏气率	5.4.1	6.1.2
5	真空腔体氦检漏率	5.4.1	6.1.3
6	真空室极限压力	5.4.1	6.1.4
7	工艺腔压升率	5.4.1	6.1.5
8	设备表面温度	5.4.1	6.1.6
9	腔内工艺温度范围	5.4.1	6.1.7
10	腔内单点温度稳定性	5.4.1	6.1.8
11	最大升温速率	5.4.1	6.1.9
12	最大降温速率	5.4.1	6.1.10
13	片内膜厚均匀性（每一个腔室）	5.4.2	6.2.1
14	片间膜厚均匀性（单载板内）	5.4.2	6.2.2
15	批次膜厚均匀性	5.4.2	6.2.3
16	片间隐含开路电压均匀性	5.4.2	6.2.4
17	批次隐含开路电压均匀度	5.4.2	6.2.5

- 7.2.3 交付检验项目中任一项出现故障时，应停止检验，查出故障原因，排除故障后，重新进行检验。
- 7.2.4 交付检验项目若无法排除故障以达到检测要求，则该设备判为不合格。

8 标志、包装、搬运和运输、贮存

8.1 标志

8.1.1 设备标牌

应在明显部位设置字迹清晰、牢固耐久的标牌，并符合 GB/T 13306 的规定。标牌中至少应包含以下内容：

- a) 设备名称和型号；
- b) 设备额定电压、额定电流、额定功率；
- c) 设备外形尺寸和重量；
- d) 出厂编号、制造日期；
- e) 制造单位名称或商标。

8.1.2 安全标志

安全标志应符合以下要求：

- a) 安全标志图形的含义、颜色组合与使用方法应符合 GB 2894—2008 的规定；
- b) 设备的特殊安全要求及应遵守的操作规程应根据需要制成标牌，固定在醒目位置。

8.1.3 包装标志

包装标志应符合：

- a) 包装箱上应“易碎物品”“禁止翻滚”“向上”“怕湿”等储运图示标志，需要吊装的包装箱应有“由此吊起”标志，且储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。
- b) 需要时，包装箱应按 GB/T 6388 的规定标明收发货标志，至少应包含设备名称、型号和规格、包装箱体积和重量、收货地点和单位、发货单位、包装日期等信息。

8.2 包装

包装应符合：

- a) 包装的通用原则是足够满足运输条件及贮存条件，能确保设备及零部件不会产生损坏、破损、生锈等情况。
- b) 应采用木箱包装，同时采用防潮包装、防震包装等防护包装，具体应满足 GB/T 13384 的相应规定。包装应牢固可靠，包装箱边角用扎带加固，防止开裂。
- c) 重要机械部分及零部件须使用真空铝箔和塑料膜的包装方式，其他设备和零部件采用防水、防潮包装，使设备在长时间的运输过程中得到更好的防潮、防锈、防腐效果
- d) 包装材料应清洁干燥，且具有防霉、防蛀等特性，不应使用导致设备锈蚀及产生有害气体的材料（如石棉）。缓冲和包裹材料应阻燃、无腐蚀性，不易破碎、剥落、粉化和脱落。
- e) 防潮用干燥剂应采用透气性好的袋子装好，放在设备内部或周围，不应直接接触设备，放入干燥剂后应迅速密封。
- f) 随同设备的备件、附件以及拆卸下的部件或零件应加标签进行标记。随机备件、附件应采用防潮密封包装。
- g) 设备表面不应直接与对镀（涂）层有影响的材料（如橡胶、海绵、聚氯乙烯等）接触
- h) 装箱清单应包含以下文件（以供需双方合同约定为准）：
 - 1) 装箱清单；
 - 2) 设备操作使用说明书；
 - 3) 设备维修手册（含结构、电路与管路等的图纸）；
 - 4) 随机备件和附件清单、易损件清单等。

8.3 搬运和运输

8.3.1 搬运

设备的搬运应符合以下要求：

- a) 搬运时应平稳，缓起慢放，避免磕碰划伤设备表面，避免破坏设备精度；
- b) 采用起吊方式搬运时，吊索捆绑位置选择可以承重部位，应避免仪表及结构脆弱部位，起吊时应控制升降速度，防止设备倾倒或坠落；
- c) 使用叉车时，两叉牙长度应超过设备中心 100 mm 以上；
- d) 采用气垫搬运设备时，气垫应放在设备底部的承重梁下，每台设备配置的气垫应不少于 4 个。

8.3.2 运输

设备的运输应符合以下要求：

- a) 运输时应采取防震、防潮、防晒及防污措施，用敞篷车运输时需加盖篷布；
- b) 装载时应注意包装箱重心高度一般不超过 2 m，堆放应整齐牢靠；
- c) 包装件应放置平衡，不允许偏向一侧；
- d) 不应与易燃、易爆、易腐蚀的物品同车装运；
- e) 装车和运输过程中应有防止跌落的紧固措施。

8.4 贮存

设备应存放在仓库中，仓库应清洁、通风，且无腐蚀性介质，环境温度（-5~40）℃，相对湿度不大于 75 %。不同型号规格的设备应分别放置，摆放整齐，不应倒置；与腐蚀性、易燃、易爆物品隔离存放；小型和精密部件应放置在器材架上；包装件应堆放在带枕木的底座上，枕木高度应不低于 20 cm。