



《光伏材料检测技术》 联盟课程标准

课程负责人： _____ 张东 _____

学 校： _____ 乐山职业技术学院 _____

新能源类专业教学资源库共建共享联盟课程指导小组

2018年2月4日



《光伏材料检测技术》联盟课程标准

适用对象：高职三年制

适用专业：新能源类专业

课程类别：岗位主干领域课程

修课方式：必修

教学时数：84

总 学 分：5.5（按四舍五入的原则，每 16 课时为 1 学分计算）

一、课程的性质和任务

（一）课程定位

《光伏材料检测技术》学习领域是光伏材料加工与应用专业的一门岗位核心学习领域课程，以培养学生对光伏材料产品的检测能力为主，对学生进行职业素质和职业技能教育。通过本课程学习使学生掌握多晶硅原辅料、单多晶锭（棒）、硅片、电池片等方面的检测能力，“懂原理、会检测”，为就业打下坚实的基础，培养学生光伏材料检测岗位职业能力，实践动手能力、解决实际问题的能力。

（二）学习领域目标

通过学习《光伏材料检测技术》，使学生掌握以下专业能力、方法能力、社会能力等目标。

1. 专业能力目标



- (1)了解光伏材料检测工艺的安全技术知识，基本具备安全防护的能力
- (2)了解光伏材料检测涉及的设备操作步骤、使用注意事项及维护保养方法，具备能读懂中英文操作说明书能力；
- (3)了解国内外先进检测技术、测试标准，具备正确检测的能力；
- (4)掌握多晶硅原辅料的检测，包括工业硅、氯化氢、氢气、液氯、三氯氢硅的检测，需要对多晶硅原辅料产前成分分析检测，才能保证高纯多晶硅料的生产要求。
- (5)掌握冷热探针法测试硅单晶导电类型，四探针法测试电阻率，高频光电导衰退法测试少子寿命的测试原理和操作步骤，具备正确进行电学性能检测的能力；
- (6)掌握硅单晶电化学腐蚀机理及常用腐蚀剂，金相显微镜的操作，具备正确检测晶体缺陷的能力；
- (7)掌握硅单晶晶体取向的表示方法，光图定向法的基本原理及操作步骤，具备正确使用晶体定向的能力；
- (8)掌握红外吸收法测试硅单晶碳氧含量的原理及操作步骤，具备正确进行碳氧杂质含量检测能力；
- (9)掌握对硅片的电学参数、几何参数和表面参数等方面的检测，具备对硅片检测结果的分析能力；
- (10)掌握电池片的 IV 曲线特性检测，正确利用红外检测技术对电池片漏电缺陷检测，具备对电池片检测结果的处理和分析的能力。

2. 方法能力目标

- (1)具备良好的爱岗敬业精神，肯于吃苦、爱于奉献，工作主动热情，健康的身体；
- (2)工作主动热情，保持旺盛的工作精力，服从领导工作分配，遵守厂纪厂规；
- (3)具备团结协作精神，诚实守信，于人为善、于人为友，于人合作，善于沟通和交流，积极向上；



(4)具备科学严谨、精益求精的工作精神，对工作认真负责，一丝不苟，实事求是；

3. 社会能力目标

(1) 具有获取、分析、归纳、交流、使用信息和新技术的能力；

(2) 具有自学能力、理解能力与表达能力；

(3) 有一定的社交和应变能力；对工作认真负责，一丝不苟，养成实事求是的工作作风。

(4) 具有将知识与技术综合运用能力；

(三) 前导课程

《半导体硅材料基础》、《分析化学》、《大学物理》、《化工单元操作》、《化工生产技术》、《机械制图》等。

(四) 后续课程

《多晶硅生产技术》、《单晶生长技术》、《硅片加工技术》《光伏系统应用》、《光伏发电原理与应用》等。

二、课程内容标准

(一) 工作任务划分及学时分配



表 1 工作任务划分及学时分配表

序号	工作任务	知识点	训练或工作项目	教学重点	教学情境与教学设计	建议学时
1	多晶硅原辅料的检测	1.了解三氯氢硅中杂质痕量杂质的化学光谱测定 2.了解三氯氢硅中杂质痕量硼的分析 3.掌握气相色谱法测试操作技能要点 4.掌握三氯氢硅痕量分析步骤及工作条件 5.了解工业硅中铁、铝含量测试的环境要求、员工着装要求	任务一至任务八： 三氯氢硅、工业硅、氢气、液氯、氯化氢的杂质痕量检测、任务九： 纯水的制备与检测	1、掌握：三氯氢硅中痕量杂质的化学光谱测定；三氯氢硅中硼的分析；三氯氢硅中磷的气相色谱测定；气相色谱法测定干法氢的组分。 2、理解：露点法测定气体中的水分；氯化氢中水分的测定。 3、了解：工业硅中铁铝的测定；液氯中水分的测定。 4、理解：离子交换法制备纯水的工艺。 5、熟悉：纯水的检测过程。	1、职业专门技术能力 (1).能按照作业指导书要求完成三氯氢硅、工业硅、氢气、液氯的检测分析 (2).能理解气相色谱法的分析步骤 (3).能对出现工艺问题能及数据分析 (4).能够正确制备纯水及其检测 (5).能正确填写材料检验报告 2、职业关键技术能力 (1) 能按检测任务要求制定检测任务方案； (2) 能对其他的分析与解决方案提出建设性意见； (3) 能发现并解决检测过程中出现的一般技术性问题；	22



序号	工作任务	知识点	训练或工作项目	教学重点	教学情境与教学设计	建议学时
2	单多晶锭(棒)的检测	1.掌握光图定向的检测; 2.掌握X射线衍射的检测; 3.掌握冷热探针法检测导电型号; 4.掌握四探针法检测电阻率 5.掌握少子寿命检测操作步骤 6.掌握红外吸收法测试设备工艺, 测量原理 7.理解漩涡缺陷的基本形态及分布特点	任务一、多晶硅中基磷、基硼含量的检测; 任务二: 导电型号的检测; 任务三: 电阻率的检测; 任务四: 少子寿命的检测; 任务五: 纯度的检测; 任务六、晶体硅碳氧含量的检测; 任务七、单晶棒晶体缺陷的检测	1、掌握多晶硅中基磷、基硼含量的检测; 2、掌握温差电动势法及整流效应法的基本原理操作使用; 3、掌握四探针法原理及操作、测准条件分析; 4、掌握光电导衰退法测试原理及操作、测准条件; 5、了解晶体硅纯度的检测设备及原理分析。	1、职业专门技术能力 (1)、能够对检测车间工艺设计说明书中的硅单晶导电型号进行检测; (2)、能够运用检测工艺路线设计中的原则、方法处理实际问题; (3).能正确理解四探针仪、导电型号仪等设备使用说明书; (4).能按照使用电阻率等检测说明书正确规范操作使用设备; (5).能按照工艺单步骤进行少子寿命测试; (6).能对测准条件做出正确判别; 2、职业关键技术能力 (1) 能按检测任务要求制定检测任务方案; (2) 能对其他的分析与解决方案提出建设性意见; (3) 能发现并解决检测过程中出现的一般技术性问题; (4) 能收集、整理相关资料, 能正确地撰写检测报告书, 完成检测任务, 根据检测国家标准对检测结果进行分析和评价。	44



序号	工作任务	知识点	训练或工作项目	教学重点	教学情境与教学设计	建议学时
3	硅片的检测	1.了解光图定向工艺要求; 2.掌握光图定向设备的原理; 3.掌握晶向偏离度的计算; 4.掌握 X 射线检测基本原理; 5.掌握 X 射线定向仪的使用;	任务一: 太阳能电池用多晶硅片的检测; 任务二至任务七 硅片直径、厚度和总厚度、弯曲度、翘曲度、参考面、平整度、表面质量的检测	1、掌握: 硅单晶晶体取向的表示方法; 光图定向法的原理及操作; X 定向法的原理及操作。 2、理解: 影响光图定向法及 X 光定向法的各种因素; X 光的性质与产生; 晶向与光象的关系。 3、了解: 光图定向法与 X 光定向法的有关安全知识。	1、掌握: 硅单晶晶体取向的表示方法; 光图定向法的原理及操作; X 定向法的原理及操作。 2、理解: 影响光图定向法及 X 光定向法的各种因素; X 光的性质与产生; 晶向与光象的关系。 3、了解: 光图定向法与 X 光定向法的有关安全知识。	8



序号	工作任务	知识点	训练或工作项目	教学重点	教学情境与教学设计	建议学时
4	电池片的检测	1.了解多功能分光光度计的基本原理及操作方法; 2.了解薄膜特性测试仪的基本原理及操作方法; 3.掌握太阳能电池片 IV 特性检测的基本过程; 4.掌握漏电电池的检测方法及定位;	任务一: 太阳能电池片的光学性能检测; 任务二: 太阳能电池 IV 特性检测; 任务三: 电池漏电缺陷的红外检测技术	1、掌握: 太阳能电池片 IV 特性检测原理及过程; 2、理解: 分光光度计的检测设备和方法; 3、掌握: 电池漏电缺陷的红外检测技术。	1、职业专门技术能力 (1).能理解薄膜特性测试仪原理及操作; (2).能正确地进行红外分光的检测; (3).能进行太阳能电池片 IV 曲线检测及分析; (4).能进行电池漏电缺陷的红外检测; 2、职业关键技术能力 (1) 能按检测任务要求制定检测任务方案; (2) 能对其他的分析与解决方案提出建设性意见; (3) 能发现并解决检测过程中出现的一般技术性问题; (4) 能收集、整理相关资料, 能正确地撰写检测报告书, 完成检测任务, 根据检测国家标准对检测结果进行分析和评价。	20



(二) 工作任务描述

根据《光伏材料检测技术》课程目标和涵盖的工作任务要求，确定课程内容和要求，说明学生应获得的知识、技能与态度。

表 2 工作任务描述

序号	工作任务	知识要求	技能要求
1	多晶硅原辅料的检测	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握多晶硅中基硼、基磷含量的检测 2. 掌握痕量杂质化学光谱测试的基本工艺 3. 掌握三氯氢硅中杂质痕量杂质的化学光谱测定 4. 了解三氯氢硅中杂质痕量硼的分析 5. 掌握气相色谱法测试操作技能要点 6. 掌握高纯水制备与检测。 7. 掌握工业硅中铁、铝含量检测 8. 掌握露点法测试的基本原理及参数要求 9. 掌握氯化氢及液氯中水分的检测 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能正确理解检验硅多晶中硼、磷含量的原理及检测步骤 2. 能根据岗位作业指导书，掌握相应的检测工艺 3. 能正确填写材料检验报告，及时准确进行杂质痕量检测 4. 能按照作业指导书要求完成气相色谱法的测试 5. 能正确地进行纯水制备系统的运行控制 6. 能按照作业指导书要求完成工业硅中铁、铝含量的测试 7. 能根据作业指导书完成气体中水分的测试 8. 能够检测氯化氢中水分的测定 9. 能够根据生产的检测的要求确定测试方法
2	单多晶锭(棒)的检测	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握光图定向的检测； 2. 掌握 X 射线衍射的检测； 3. 掌握冷热探针法检测导电型号； 4. 掌握四探针法检测电阻率 5. 掌握少子寿命检测操作步骤 6. 掌握红外吸收法测试设备工艺，测量原理 7. 理解漩涡缺陷的基本形态及分布特点 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能正确晶向偏离角的检测 2. 能够进行导电型号进行检测； 3. 能按照使用说明书正确规范操作四探针仪； 4. 能按照工艺单步骤进行少子寿命测试 5. 能根据参考资料整理出红外吸收法测试碳氧含量的原理、步骤 6. 能按照工艺进行晶体缺陷的检测



序号	工作任务	知识要求	技能要求
3	硅片的检测	1.熟悉单晶硅片、多晶硅片检测项目及试验方法; 2.掌握光学投影仪检测硅片直径的方法; 3.掌握硅片厚度和总厚度检测的方法 4.熟悉弯曲度和翘曲度检测的原理及方法 5.熟悉硅片主副参考面检测的装置及原理; 6.熟悉光干涉法检测表面平整度及表面缺陷的装置及原理;	1.能正确使用光学投影检测硅片直径; 2.能正确地硅片厚度和总厚度变化的检测; 3.能正确地进行弯曲度、翘曲度、参考面的检测; 4.能正确地进行平整度、表面质量的检测
4	电池片的检测	1、掌握太阳能电池生产过程中光学性能的检测 2、掌握太阳能电池 IV 特性检测 4、掌握光伏组件电性能检测 5、掌握 EVA 交联度检测 6、掌握系统外观结构、电能性能等方面检测 7、掌握光伏系统自动测试系统	1、能够正确地进行电池生产过程中光学性能的检测, 2、能进行太阳能电池 IV 特性测试, 3、能进行电池漏电的红外检测 4、能进行光伏组件的电性能检测 5、能进行系统外观结构检测, 6、能进行光伏组件电性能检测, 3、能进行太阳能电池阵列的检测,

三、课程实施建议

(一) 教材选用与编写

1、本实训教材体现了光伏材料制备技术专业的特色，力求培养学生的实践能力、良好的职业素养。本教材以高技术、高技能型人才培养目标，从企业岗位设置出发培养一线性技能型、应用型的人才奠定基础。

2、教材要充分体现项目课程设计思想，以项目为载体实施教学，让学生在完成项目的过程中逐步提高职业能力。

3、以本课程标准为依据自编教材。



(二) 教学建议

1、为了更好的引导学生积极思考、乐于实践，培养学生综合能力，结合课程内容和学生特点，突出以学生为主体，在教学过程中，采用项目化的方式进行教学，以工作任务引领，提高学生学习兴趣，提升学习效果。

2.本课程教学采用理论与实践相结合的教学方法，在完成相关实验或典型项目课题的过程中学习有关的技术知识，重点在于实践的强化学习。

3.在教学过程中，立足于加强学生实际操作能力的培养，通过项目训练提高学生学习兴趣，激发学生的成就感，每个项目的实施可采用小组合作学习的方法，强化学生的团队协作精神。

4.在教学过程中，建议采用线上线下混合教学。建议主持院校相应专业教师使用资源库进行专业教学的学时数占专业课总学时的比例达 60%以上，参与建设院校该比例达 40%以上。应运用多媒体、投影等教学资源辅助教学，帮助学生理解相关操作的工作过程。借助于大数据、物联网、移动互联等技术手段，从课堂教学、实训教学、课本学习以及课余学习四个主要职教教学场景中提高资源库的应用效力。激活师生用户有效互动、即时反馈通道，使资源库“活”起来，实现“能学”、“辅教”。

5.在教学过程中，要重视本专业领域的发展趋势，贴近行业发展现状，积极引导学生学习最新技术。为学生提供职业生涯发展的空间，努力培养学生参与社会实践的创新精神和职业能力。

6. 培养学生的“工匠精神”，将本专业学生必须具有的职业素养整合到专业课程教学目标、教学内容和考核办法之中，这样才能使学生真正具备“敬业爱岗、遵章守纪、乐于奉献，具有诚信意识与服务意识、良好的团队合作精神”的职业素养，要将工匠精神的养成计划与专业课程教学紧密结合，在教学中逐步渗透给学生工匠精神的内涵。



(三) 教学条件

应具有能满足基于项目化教学要求的实验、实训场所，多媒体教学设备及配备相应的实验实训仪器、设备。

1.担任本课程的专任教师须具备以下条件：

- (1) 师德、学历和教学水平符合“学校教师任职资格”要求；
- (2) 担任本课程教学辅导或实验实训辅导一年以上；
- (3) 具有新能源相关产业工作经验；
- (4) 具有信息化教学能力；
- (5) 具有与本课程相关的知识、技术技能和创新能力。

2.教学环境须具备以下条件

- (1). 标准与规范，实训室的布局围绕着一个思路，即“教”、“学”、“做”合一；教学设施，多媒体教室、机房、电学性能实训室，痕量分析实训室，晶体缺陷实训室。
- (2). 实训条件，满足学校光伏材料加工与应用专业学生和企业员工进行光伏材料检测操作实训。
- (3). 能为学生提供电脑或其他智能终端设备，为“互联网+资源库”的新型应用模式提供硬件支持。

四、教学评价

(1) 建议学生线上学习合格获取本课程的线上结业证书，线上学习成绩占总成绩的40%。

(2) 线下考核及其他平时教学占总成绩的60%，根据学生情况可以实时调整各项考核比例。



(3) 期末考核方式可以采用线上测试试卷+综合项目考核、线下实操考核或具有课程特点的其他考核方式。

(4) 通过的学生，颁发资源库相配套的结业证书。

证书示例：



图 《光伏材料检测技术》课程结业证书

五、教材及参考资料

1、教辅材料

- (1) 阙端麟著，硅材料检测技术，浙江：浙江大学出版社，2000
- (2) 秦善.结晶学基础，北京：北京大学出版社，2004
- (3) H.F 沃尔夫. 半导体工艺数据手册. 北京：国防工业出版社，1975
- (4) 余思明. 半导体材料学. 湖南：中南工业大学出版社，1992
- (5) W.R 鲁尼安. 半导体测量与仪器. 上海：上海科学技术出版社，1980



(6) 赵正旭.半导体晶体的定向切割.北京：科学出版社，1979

(7) 杨树人.半导体材料.第二版.北京：科学出版社，2004

(2) 教材选用与编写

本门课程选用张东、王晓忠主编的光伏材料检测技术，化学工业出版社，2016版。

教材内容与现阶段光伏材料检测岗位相适应，能够反映现实生产情况。

(3) 课程资源的开发与利用

教辅材料主要包括光伏产业链各检测岗位相关知识点，教材应随人才培养方案和实训教学大纲的变化作相应修订。

(4) 工学结合

根据光伏材料检测技术课程的特点，我们与相关光伏企业进行联系沟通，合理的安排学生到尽可能专业对口的岗位上参加工学结合下厂实习。为学生提供了包括专业技能和综合能力两方面能力培养的实践环境，使学生在真实的环境下进行岗位实践，培养学生解决生产实际和工程项目中实际问题的技术及管理能力和领导艺术才能等个人综合素质，培养学生团队协作精神，群体沟通技巧，组织管理能力和领导艺术才能等个人综合素质，为学生今后从事各项工作打下基础。

学校也安排教师到企业下厂学习，使教师的实践教学能力得以提升，教师可以根据在工厂里面的学习经历与企业开发“厂中校”课程资源，更好的为学生和企业服务。

(5) 网络资源

《光伏材料检测技术》立体化电子教材可作为辅助材料学习，应用于课程教学。网络资源可以作为学生从事光伏材料检测技术课程学习活动的辅助性工具。为此，老师可



以引导学生积极有效地将网络资源用于教学学习活动之中。例如，借助网络资源查阅光伏材料检测方面的知识及生产方法、注意事项等。

(6) 仿真软件

使用有效的仿真软件绘制光伏材料检测技术课程的设计过程、呈现抽象对象的直观背景，使学生加深对相关教学内容的理解，帮助学生形成解决问题的基本策略和方法等。

制定人：张 东

审 核：新能源类专业教学资源库共建共享联盟

课程指导小组