

非晶硅薄膜太阳能电池及生产设备 技术发展现状与趋势

赵志明

(中国电子科技集团公司第二研究所 山西太原 030024)

摘要:介绍了非晶硅薄膜太阳能电池和支撑设备的技术发展现状和市场情况,针对我国薄膜太阳能电池产业的需求情况,探讨了发展薄膜太阳能电池产业的途径。

关键词:非晶硅薄膜太阳能电池;制备技术;工艺流程

中图分类号:TK519

文献标识码:A

太阳能光伏发电技术作为太阳能利用中最具意义的技术,成为世界各国竞相研究应用的热点。最近10年以每年平均30%的速度递增。目前,光伏电池仍然是以晶体硅光伏电池为主,市场份额达90%,其次是非晶硅薄膜太阳能电池发展迅速,市场份额占到6%~7%。

1 非晶硅薄膜光伏电池的特点和应用

非晶硅光伏电池是薄膜光伏电池中最成熟的产品,非晶硅光伏电池虽然在转换效率方面略逊于晶体硅光伏电池,但其制造成本低廉、能耗小,这是晶体硅光伏电池所不能比的。

1.1 非晶硅薄膜光伏电池的特点

一是材料和制造工艺成本低。这是因为衬底材料(如玻璃、不锈钢、塑料等)价格低廉。硅薄膜厚度不到 $1\mu\text{m}$,昂贵的纯硅材料用量很少。制作工艺为低温工艺($100\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$),生产过程中耗电量小,能量回收时间短。

二是易于形成大规模生产能力。这是因为核心工艺适合制作特大面积无结构缺陷的a-Si合金薄膜;只需改变气相成分或者气体流量便可实现pn结以及相应的迭层结构,生产过程可实现全流程自动化。

三是品种多,用途广。薄膜的a-Si太阳电池易于实现集成化,器件功率、输出电压、输出电流都可自由设计,可以较方便地制作出适合不同需求的品种较多的产品。

1.2 非晶硅薄膜光伏电池的应用

由于非晶硅薄膜光伏电池制造成本低,非晶硅薄膜光伏电池非常适合用于建筑光伏一体化(BIPV)以及大型太阳能并网发电系统。由于非晶硅薄膜光伏电池光吸收系数高,暗电导很低,适合制作用于室内的微低功耗电源,如手表电池、计算器电池等。同时,非晶硅薄膜光伏电池对太阳光适应范围较广。非最佳角度阳光下它的工作情况好于其他光伏电池,因此容易用于玻璃幕墙,特别适合在新建建筑上使用,符合我国目前的建筑节能政策。

2 硅基薄膜光伏电池的制备技术和工艺流程

目前,非晶硅薄膜光伏电池的制备技术包括反应溅射法、PECVD法、LPCVD法等,制成的非晶硅薄膜经过不同的电池工艺流程可分别制得单结电池和叠层光伏电池。

不同的非晶硅光伏电池的结构不同,其中PIN电池的结构较好,它是在衬底上先沉积一层掺磷的N型非晶硅,再沉积一层

未掺杂的i层,然后再沉积一层掺硼的P型非晶硅,最后用电子束蒸发一层减反射膜,并蒸镀银电极。该制作工艺可采用一连串沉积室,在生产中形成连续程序,以实现大批量生产。同时,非晶硅光伏电池很薄,可以制成叠层式,或采用集成电路的方法制造,在一个平面上,用适当的掩模工艺,一次制作多个串联电池,以获得较高的电压。

因为普通晶体硅光伏电池单个只有0.5V左右的电压,现在非晶硅串联太阳电池可达2.4V。由于沉积分解温度低,可在玻璃、不锈钢板、陶瓷板、柔性塑料片上沉积薄膜,易于大面积生产,成本较低。

在玻璃衬底上制备的非晶硅基光伏电池的结构为Glass/TCO/p-a-SiC:H/i-a-Si:H/n-a-Si:H/Al;在不锈钢衬底上制备的非晶硅基光伏电池的结构为SS/ZnO/n-a-Si:H/i-a-Si(Ge):H/p-na-Si:H/TiO/Al。

2.1 非晶硅薄膜光伏电池片生产工艺

生产线以硅烷、磷烷等气体为原料采用等离子增强气相沉积(PECVD)系统做成大面积光伏电池板,生产线能生产单结和双结薄膜光伏电池板,单结电池板需要一套PECVD系统,对于双结光伏电池板,还需要额外配有两个PECVD系统。

非晶硅光伏电池的生产工艺流程如下:

导电玻璃精细处理(Washing of Glass Substrate)→镭射切割(Laser Scribing)→超声波清洗(Ultrasonic cleaning)→PECVD→镭射切割(Laser Scribing)→真空溅射(Vacuum Sputtering)→镭射切割(Laser Scribing)→超声波焊接(Connection)→初检测(Pre-test)→层压封装(Encapsulation)→接线盒安装(Junction box Installation)→检测(Test)→后整理(Processing)→包装入库(Packing/Storing)。

2.2 非晶硅薄膜光伏电池片整套生产线

非晶硅薄膜光伏电池片整套生产线由物料搬运系统和合成设备组成。

合成设备包括玻璃上线机器人、预清洗机、玻璃清洗机、光刻机、激光画线机、PECVD系统、PVD沉积柜机、镀膜机器人、待处理储存柜、玻璃对缝除边机、组件切割机、镀膜后清洗机、PVB节割机、基板玻璃清洗机、层压机、高压处理器、太阳能模拟器、接线封装机、恒温湿空调系统。

物料搬运系统包括PECVD玻璃负荷机、玻璃负荷机、搬运机、传送平台、旋转平台、起重机、蓄能器。

该生产线还包括分析检验中心和一系列品质监测设备,以确保生产出高品质、低成本的产品。除了主生产线外,还配套有

基于子模型技术的叶轮轴孔三维裂纹应力强度因子有限元仿真

李 宁 赵俊生

(1.山西泰诺招标代理有限公司,山西太原,030006;2.中北大学机械工程与自动化学院,山西太原,030051)

摘 要:基于断裂力学理论和有限元数值分析方法,针对压气机叶轮由于铸造缺陷和疲劳引起的三维裂纹,应用子模型技术和 ParaMesh 网格随移技术,给出了计算压气机叶轮轴孔三维裂纹前沿应力强度因子的求解方法及途径,并对压气机叶轮轴孔三维裂纹的扩展方向和扩展速率进行了分析,基于压气机叶轮轴孔三维裂纹应力强度因子求解结果,指出叶轮轴孔三维裂纹前沿应力强度因子随裂纹半径的增加而增加,裂纹前沿轴向的应力强度因子大于径向的应力强度因子,裂纹在轴向的扩展速率大于径向的扩展速率。

关键词:压气机叶轮;有限元法;应力强度因子;子模型;ParaMesh

中图分类号:TH45 **文献标识码:**A

由于最大应力一般都发生在零件表面,因此疲劳裂纹常常从零件表面开始,而且在零件表面上缺陷往往也最多^[1]。增压器涡轮由于在真空条件下浇铸,故一般铸造质量容易得到保证,相比之下压气机叶轮的铸造质量问题较多一些,在铸造过程中不可避免地产生气孔、缩孔、夹渣等缺陷^[2]。此外,由于环境影响,叶轮在制造、运输或使用过程中也会产生微小的缺陷和裂纹。高速旋转时,在离心载荷及外界载荷的作用下,这些孔洞、缺陷和裂纹通常会引起其周围区域(特别是裂纹尖端)的应力集中,导

致叶轮在工作转速下短时间内发生脆性破裂。

在研究裂纹处有拉应力的构件(如带初始裂纹的拉伸或弯曲构件)的低应力脆断规律时,除了裂尖附近的极微小区域外,材料均处于线弹性状态,故可按线弹性力学的方法对裂尖附近区域内的应力、应变和位移进行分析。由于裂纹的力学模型是在尖端处曲率半径等于零的尖锐切口,按线弹性力学方法求得的裂尖处应力具有奇异性,有限元分析时需要采用奇异单元,从而导致有限元建模的困难。本文基于断裂力学理论,结合子模型与网

安全、高效的气体供应设施以及完整的气体监控除害系统,以满足安全运营和环保的要求。

非晶硅薄膜光伏电池所需原料主要有基板玻璃、TCO 导电玻璃以及 SiH₄、PH₃、TMB 等特殊气体,使用的其他气体还有 N₂、O₂、He、H₂、Ar、NF₃、CH₄ 以及压缩空气、天然气等。物理气相沉积(PVD)使用的靶材有 ZnO、Al、Ag、NiV 等。

2.3 光伏电池(组件)生产工艺

组件线又叫封装线,封装是光伏电池生产中的关键步骤,没有良好的封装工艺就生产不出好的组件板。电池的封装可以使电池的寿命得到保证,同时还增强了电池的抗击强度。产品的高质量和高寿命是使客户满意的关键,所以组件板的封装质量非常重要。

其工艺流程如下:电池检测→正面焊接—检验→背面串接—检验→敷设(玻璃清洗、材料切割、玻璃预处理、敷设)→层压→去毛边(去边、清洗)→装边框(涂胶、装角键、冲孔、装框、擦洗余胶)→焊接接线盒→高压测试→组件测试→外观检验→包装入库。

电池组件的原材料有背板玻璃、PVB 胶片、接线盒等。

3 非晶硅薄膜太阳能电池制造设备发展现状

非晶硅薄膜太阳能电池制造设备占一条薄膜太阳能生产线总成本的 70%以上,而在整个薄膜太阳能生产线中最关键的设备是 PECVD 与 PVD 设备,这两种设备占设备成本的 2/3。

在平板显示领域中,基于大面积 TFT(薄膜晶体管)的 TFT-LCD 工艺已十分成熟,可借鉴其大面积非晶硅均匀性成膜工

艺和设备,目前通常做法是采用 TFT-LCD 工艺中用于薄膜晶体管生产的设备来生产薄膜硅光伏电池。主要有美国应用材料公司、瑞士欧瑞康公司和日本爱发科 ULVAC 公司等 3 家平板显示设备供应商,产品规格从 5 代线(基板规格 1.1 m×1.3 m)起步,到 8.5 代(基板规格 2.2 m×2.6 m)生产线,生产规模从 20 MW 到 60 MW。

4 结语

非晶硅薄膜光伏电池所具有的技术特点使其市场前景看好,国内很多企业准备上马该项目。但由于薄膜光伏产业发展所需的大尺寸导电玻璃、主要气体原料以及薄膜电池的生产设备等都依靠进口且价格昂贵,使得项目总投资巨大,融资压力大。特别要指出的是,由于核心技术都被国外垄断,具有我国自主知识产权的技术非常缺乏,导致对外依存度过高,使行业发展面临瓶颈,成本居高不下,大量增值利润被拥有技术优势的国家赚取。

因此,必须通过掌握核心工艺技术、核心装备技术和核心管理模式来形成核心竞争力,提高非晶硅薄膜光伏电池技术主导权和市场话语权,提高整个产业的长期竞争力,降低中远期风险,占领更大的技术转让、设备制造市场。

(责任编辑:白尚平)

第一作者简介:赵志明,男,1974 年 11 月生,1999 年毕业于太原理工大学,工程师,中国电子科技集团公司第二研究所,山西省太原市和平南路 115 号,030024。(下转第 140 页)

如果能够通过试验确定叶轮材料常数 C 和 m 的值,即可根据 Paris 公式预测出对应不同半径的裂纹的扩展速率。结合压气机叶轮工作的载荷谱,可进一步应用损伤容限分析可预测该叶轮的剩余寿命。

3 结论

基于断裂力学理论,针对压气机叶轮由于铸造缺陷和疲劳引起的三维裂纹,运用有限元数值分析方法,结合子模型技术和 ParaMesh 网格随移技术,分析了裂纹尖端应力强度因子随裂纹尺寸的变化趋势,比较分析了压气机叶轮轴孔三维裂纹扩展方向和扩展速率,得到了以下结论:

(1) 精确求解三维裂纹前沿附近的应力应变场或位移场,是分析裂纹尖端应力强度因子的前提。对于含体裂纹的压气机叶轮,周期对称结构不再适用。应用体力场中的子模型技术,不仅能够缩减计算规模,而且能够保证足够精细的三维裂纹区域网格,得到三维裂纹前沿准确的位移场,从而保证应力强度因子求解的准确性。

(2) 由于裂纹尖端具有奇异性,求解裂纹的应力应变场需要用很细的 $1/4$ 奇异网格,其中网格划分工作量十分巨大,严重影响计算效率。基于 ParaMesh 网格随移技术,只需对裂纹体进行一次网格划分,通过网格随移能够得到不同尺寸的裂纹网格,从而极大地提高了分析和计算效率。

(3) 压气机叶轮轴孔三维裂纹应力强度因子求解结果表明,叶轮轴孔三维裂纹前沿应力强度因子随裂纹半径的增加而增加,裂纹前沿轴向的应力强度因子大于径向的应力强度因子,裂纹在轴向的扩展速率大于径向的扩展速率。根据脆性断裂的准则可判断裂纹失稳的临界裂纹尺寸以及剩余寿命,为今后叶轮的损伤容限设计奠定了基础。

参考文献

- [1] 李舜酩.机械疲劳与可靠性设计[M].北京:科学出版社,2006.
- [2] 朱大鑫.涡轮增压与涡轮增压器[M].北京:机械工业出版社,1992:317-319.
- [3] Suresh S.材料的疲劳[M].王中光,译.北京:国防工业出版社,1993.
- [4] Sih G C, Liebowitz H. Mathematical theories of brittle fracture [C].In :Liebowitz H ed, Fracture Vol.2. New York: Academic Press, 1968.
- [5] 周爱细,黄建龙,郎福元.计算断裂力学进展[J].甘肃工业大学学报,1998,24(1):111-116.
- [6] Meguid S A, Tan M, Zhu Z H. Analysis of cracks perpendicular to biomaterial interfaces using a novel [J].FE.Int. J Fracture,1995,73(1):23-36.
- [7] 赵俊生,马朝臣.车用涡轮增压器涡轮叶轮破裂转速的弹塑性数值分析[J].机械科学与技术,2008,27(1):45-49.
- [8] Cao J J, Yang G J, Paker J A et al. Crack modeling in FEM analysis of circular tubular joints [J].Engineering Fracture Mechanics, 1998, 61: 537-553.
- [9] Anthony R Ingraffea. corneliu manu. Stress-intensity factor computation in three dimensions with quarter-point elements [J]. International journal for numerical methods in engineering, 1980, 15: 1427-1445.

(责任编辑:白尚平)

第一作者简介:李 宁,男,1971年5月生,1997年毕业于华北工学院机械设计与制造专业,工程师,山西泰诺招标代理有限公司,山西省太原市太榆路6号,030006.

Finite Element Simulation on SIF (Stress Intensity Factor) of 3D Crack on Impeller Axlehole Based on Modelling Technique

LI Ning, ZHAO Jun-sheng

ABSTRACT: By using the theory of fracture mechanism and finite element method based numerical analysis, in the light of the cracks on compressor impeller caused by the casting defect and fatigue, and making use of the modeling technique and ParaMesh mesh-shifting technique, this paper gives the methods and paths for calculating the 3D crack front SIF on impeller axlehole of gas compressor, and analyzes the extension direction and extension rate of the 3D crack on impeller axlehole of gas compressor, and based on calculation results of the 3D crack SIF on impeller axlehole of gas compressor, points out that the 3D crack front SIF on impeller axlehole increases along with the increase of crack radius, the crack front longitudinal SIF is more than radial SIF, and the longitudinal extension rate is more than the radial extension rate.

KEY WORDS: compressor impeller; finite element method (FEM); SIF; submodel, ParaMesh

(上接第 137 页)

Technical Development Status and Trends of Amorphous Silicon Thin-film Solar Cell and Production Equipment

ZHAO Zhi-ming

ABSTRACT: This paper introduces technical development status and market conditions of amorphous silicon thin-film solar cell and supporting equipment, and in the light of the conditions of demand on our country's thin-film solar cell industry, probes into the paths for developing thin-film solar cell industry.

KEY WORDS: amorphous silicon thin-film solar cell; preparative technique; technical process