

# 多晶硅太阳能电池组件电位诱导衰减效应分析

马新尖

拉萨师范高等专科学校信息技术系, 西藏 拉萨 850000

**摘要** 电位诱导衰减(PID)能够导致晶体硅太阳能电池组件功率大幅衰减,使太阳能电池组件的大规模应用受到了限制。实验分析了由不同等离子体增强化学气相沉积(PECVD)镀膜工艺多晶硅太阳能电池制作的组件功率衰减问题。结果表明,相比标准工艺多晶硅太阳能电池(折射率为2.06),防PID工艺多晶硅太阳能电池(折射率为2.16)制作的组件功率仅有1.65%的衰减,衰减幅度在5%以内,具有一定的耐高压、高温和湿热环境的能力。分析可知,在满足光学薄膜厚度的情况下,制作具有较高折射率 $\text{SiN}_x$ 膜的多晶硅太阳能电池组件能够更好地预防PID现象的发生。

**关键词** 材料; 电位诱导衰减; 功率衰减; 多晶硅; 太阳能电池组件

**中图分类号** TN36      **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/LOP52.071604

## Analysis of PID Effect for Polycrystalline Silicon Solar Cells Module

Ma Xinjian

Information Technology Department, Lhasa Normal College, Lhasa, Tibet 850000, China

**Abstract** Potential induced degradation (PID) can lead to a great attenuation in crystalline silicon solar cells module's power and bring limitation on the large-scale application of solar cells module. The power attenuation problem of module made of different plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) coating processed polycrystalline silicon solar cells is analyzed experimentally. The results show that compared with the module of standard process polycrystalline silicon solar cells (the refractive index is 2.06), the module made of preventing PID processed polycrystalline silicon solar cells (the refractive index is 2.16) suffers a power attenuation of 1.65% only, which is within the attenuation range of 5%, and has certain abilities of resistance to high pressure, high temperature and humid environment. According to the analysis, under the condition of the certain thickness of optical film, making polycrystalline silicon solar cells module with high refractive index  $\text{SiN}_x$  film can better prevent the happening of the PID phenomenon.

**Key words** materials; potential induced degradation; power attenuation; polycrystalline silicon; solar cells module

**OCIS codes** 160.6030; 365.6050; 040.6040

## 1 引言

随着全球能源紧张及需求的日益增长,可再生能源及绿色清洁能源已受到世界各国的广泛关注。太阳能以无污染、储量大、能量分布广和市场空间大等优势拥有着极大的发展前景,但转换率低、应用成本高及稳定性较差一直是影响其大规模应用及与火力、水利发电并网的主要瓶颈。近年来,太阳能电池组件在应用中出现了在晶体硅光伏组件电路与其接地金属边框之间的高压会造成光伏组件性能的持续衰减现象,备受业界人士的关注。造成这类衰减的机理较多,业界专业人士将这些能够引起组件衰减的机理称为电位诱导衰减(PID)。

1978年,Hoffman等<sup>[1]</sup>研究了光伏组件在高压湿热环境中的稳定性。2005年,SUNPOWER公司就提出了表面极化现象,经过研究,当组件发生PID现象时,组件功率会出现大幅度降低,但采用一定的实验方法后,PID现象基本能够恢复到现象发生前的功率<sup>[2]</sup>。佛罗里达太阳能中心(FSEC)<sup>[3-4]</sup>在炎热和潮湿环境下,研究了系统偏压对漏电流的影响,结果表明在户外潮湿环境下薄膜模块的漏电流基本保持在0.1~8 mA的范围内。同时,FSEC还发表了金属离子在组件模块中是如何进行迁移的<sup>[5]</sup>。美国国家能源部可再生能源实验室(NREL)和SOLON公司<sup>[6-8]</sup>证实了无论组件采用何种技术的P型晶硅电池片,组件在负偏压下都有PID的风

收稿日期: 2014-12-15; 收到修改稿日期: 2015-01-30; 网络出版日期: 2015-06-12

作者简介: 马新尖(1985—),女,硕士,助教,主要从事半导体光伏电池和器件等方面的研究。E-mail: 932594765@qq.com

险。Naumann 等<sup>[9-10]</sup>采用 SEM/TEM/SIMS/EBICA 对出现 PID 现象的晶硅太阳能电池表面微结构进行了分析,结果表明电子分流与金属钠离子( $\text{Na}^+$ )在太阳能电池减反射膜表面的富集有关。国内也有相关研究人员对 PID 现象进行了研究。陶亮<sup>[11]</sup>对多晶硅组件的电位诱发衰减的内部及外部成因进行了报道。曾雪华等<sup>[12]</sup>依据相关测试标准,再现了 PID 效应,并研究了组件 PID 效应的影响因素,为后续组件 PID 效应改善提供了参考。姚明等<sup>[13]</sup>通过对光伏逆变器的特殊化设计降低电池组件的 PID 效应,从而提高光伏系统发电效率。Koch 等<sup>[14-15]</sup> PID 现象的出现不仅与组件所处的环境及所使用的封装材料有关,还与减反射膜的厚度、折射率大小以及硅片质量有关。

本文主要采用 PECVD 标准镀膜工艺和防 PID 镀膜工艺制作的多晶硅太阳能电池片,制成两组多晶硅太阳能电池组件。在相同温度、湿度及偏压下,测试组件的衰减特性,并对其衰减前后进行电致发光(EL)缺陷测试,分析组件衰减原因。

## 2 实 验

### 2.1 实验方案

表 1 中 a、b 分别代表太阳能电池标准制作工艺和防 PID 制作工艺及其组件测试条件。标准工艺太阳能电池组件和防 PID 太阳能电池组件均由 60 片  $156\text{ mm} \times 156\text{ mm}$  的多晶硅太阳能电池片组成。其中,标准工艺制作的多晶硅太阳能电池片表面镀有平均折射率为 2.06 的单层  $\text{SiN}_x$  减反射膜,防 PID 工艺制作的多晶硅太阳能电池片表面镀有平均折射率为 2.16 的单层  $\text{SiN}_x$  减反射膜;在其他工艺基本一致的情况下,为了减少实验的不确定因素的引入,在制作标准工艺和防 PID 工艺多晶硅太阳能电池时均采用数目相同的栅线网版进行丝网印刷。在温度为  $85\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 85%、偏压为  $-1000\text{ V}$  的条件下进行持续 96 h 的功率衰减测试。

实验中采用 EL 缺陷仪对标准工艺和防 PID 工艺多晶硅太阳能电池制作的组件衰减前后进行缺陷测试。

表 1 实验方案

Table 1 Scheme of the experiments

Group	PECVD process	$\text{SiN}_x$ film refractive index	Test condition
a	Standard process	2.06	$85\text{ }^\circ\text{C}$ 、85RH%、 $-1000\text{ V}$ 、96 h
b	Preventing PID process	2.16	

## 3 结果与讨论

功率衰减实验完成之后对标准工艺和防 PID 工艺多晶硅太阳能电池片制作的组件进行 EL 测试和衰减结果测量。

### 3.1 电致发光缺陷测试分析

图 1 给出了标准工艺和防 PID 工艺多晶硅太阳能电池组件衰减前的 EL 测试图。从图可以看出,标准工艺和防 PID 工艺多晶硅太阳能电池组件未出现黑芯片、隐裂、漏电、穿孔、位错簇等 EL 隐性缺陷<sup>[16-17]</sup>,说明该组件初步符合使用要求。

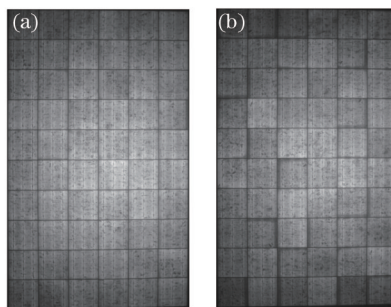


图 1 (a)标准工艺和(b)防 PID 工艺多晶硅太阳能电池组件衰减前 EL 测试

Fig.1 EL test of (a) standard process and (b) preventing PID process polysilicon solar cells module before attenuation

图 2 给出了标准工艺和防 PID 工艺多晶硅太阳能电池组件衰减后的 EL 测试图。从图中可以看出,相比防 PID 工艺多晶硅太阳能电池制作的组件,标准工艺电池制作的组件 EL 缺陷测试出现了明显的电池片发暗、发黑等现象,说明标准工艺制作的多晶硅太阳能电池在使用中出现了缺陷,这些缺陷会引起太阳能电池功率的衰

减、转换效率的降低,导致整个组件在使用过程中出现功率损失,不利于太阳能电池大规模发电使用。这是因为当组件长时间处于高温、湿热及外加负压的环境中,会在封装玻璃及封装材料之间引起漏电流的出现,此时玻璃表面带正电,多晶硅太阳能电池片表面将聚集大量的负电荷,一方面,这些电荷的聚集使得太阳能电池表面沉积的 $\text{SiN}_x$ 膜的钝化效果变差,会引起开路电压及短路电流的降低,导致转换效率的降低,功率的衰减<sup>[18]</sup>;另一方面,虽然 $\text{SiN}_x$ 膜具有阻挡水蒸气、金属 $\text{Na}^+$ 离子等以及起到绝缘保护、抗氧化和降低界面态密度的作用<sup>[19]</sup>,但由封装玻璃及电池片表面富集的正负电荷形成的从玻璃指向电池片的电场却给这些金属正离子提供了正能量,在电场力的作用下这些金属离子(有效的复合中心)有可能进入电池片,直至PN结,使得PN结遭到破坏,导致串联电阻增大,并联电阻减小,导致EL测试发黑变暗,组件功率衰减<sup>[18]</sup>。防PID工艺多晶硅太阳能电池制作的组件EL测试无明显发黑变暗现象,说明其具有一定的耐高温湿热环境的能力。这是因为较高折射率的 $\text{SiN}_x$ 膜钝化效果优于低折射率的 $\text{SiN}_x$ 膜,有利于降低多晶硅体内原本存在的深能级缺陷及因为高温、高压及湿热环境而额外进入到电池片内部的金属离子引起的缺陷数量,这些缺陷是有效的复合中心,会导致少子寿命的降低,引起太阳能电池组件EL测试缺陷。另一方面,较高折射率的 $\text{SiN}_x$ 晶格结构相比标准工艺更接近Si基底的结构,有助于降低Si- $\text{SiN}_x$ 界面态密度,从而增强表面钝化效果,增加少子扩散长度,提高少子寿命<sup>[20]</sup>。

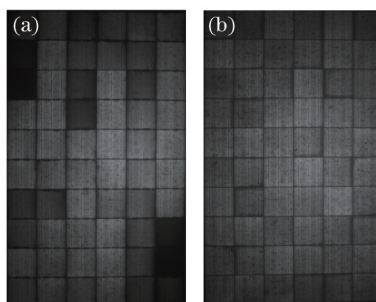


图2 (a)标准工艺和(b)防PID工艺多晶硅太阳能电池组件衰减后EL测试

Fig.2 EL test of (a) standard process and (b) preventing PID process polysilicon solar cells module after attenuation

### 3.2 功率测试结果分析

表2给出了标准工艺和防PID工艺多晶硅太阳能电池组件的功率衰减测试。由测试结果可知,在温度为 $85\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为85%及反向偏压为1000V的条件下,标准工艺多晶硅太阳能电池制作的组件经过持续96h后的功率测试为148.39W,相比初始功率,衰减了41.07%,衰减幅度较大。相同的条件下,防PID工艺多晶硅太阳能电池组件经过96h后功率测试为242.76W,相比初始功率仅有1.65%的衰减,衰减幅度在5%以内<sup>[11]</sup>。因此,相比标准工艺多晶硅太阳能电池制作的组件,防PID工艺多晶硅太阳能电池组件的耐高温高压湿热环境的能力更强,且功率衰减幅度小。这主要是因为防PID工艺制作的多晶硅太阳能电池表面镀有较高折射率 $\text{SiN}_x$ 膜的缘故,折射率越高,钝化效果越好,一方面,具有较高折射率的 $\text{SiN}_x$ 膜经过烧结会释放出更多的H而到达Si的表面及体内,减少Si表面及体内的缺陷,达到减少有效复合中心的目的;另一方面, $\text{Na}^+$ 在外电场的作用下会向 $\text{SiN}_x$ 膜表面迁移并富集是导致太阳能电池组件PID现象产生的主要原因, $\text{Na}^+$ 的富集导致减反射膜表面态数量的增加,有效复合中心数量的增加,防PID工艺制作的 $\text{SiN}_x$ 减反射膜具有好的钝化效果,可达到减少因 $\text{Na}^+$ 的富集导致减反射膜表面态数量增加的目的,从而起到预防PID现象发生的作用<sup>[18]</sup>。

表2 标准工艺和防PID工艺多晶硅太阳能电池组件功率衰减测试结果

Table 2 Power attenuation test of standard process and preventing PID process polysilicon solar cells module

Group	Initial power /W	Power after attenuation /W	Attenuation rate /%
Standard process solar cells module	251.82	148.39	-41.07
Preventing PID process solar cells module	246.83	242.76	-1.65

## 4 结 论

针对目前晶体硅太阳能电池大规模应用中出现的因PID现象而引起的功率衰减问题设计实验,分析了不同PECVD镀膜工艺制作的多晶硅太阳能电池组件在高温、高压和湿热环境下,经过长时间的使用功率衰减问

题。结果表明,相比标准工艺多晶硅太阳能电池组件,防PID工艺多晶硅太阳能电池制作的组件功率仅有1.65%的衰减,衰减幅度在5%以内,具有一定的耐高压、高温和湿热环境的能力,这是因为较高折射率 $\text{SiN}_x$ 膜的钝化效果优于较低折射率 $\text{SiN}_x$ 膜。因此,在满足光学薄膜厚度的情况下,制作具有较高折射率 $\text{SiN}_x$ 膜的多晶硅太阳能电池组件能够更好地预防PID现象的发生。

### 参考文献

- 1 A R Hoffman, R G Ross Jr. Environmental qualification testing of terrestrial solar cell modules[C]. 13th IEEE PVSC, 1978: 835-842.
- 2 R Swanson, M Cudzinovic, D Deceuster, *et al.*. The surface polarization effect in high-efficiency silicon solar cells[C]. 15th PVSC, 2005: 21-25.
- 3 N G Dhere, V V Hadagali, S M Bet. Leakage currents pathways, magnitudes and their correlation to humidity and temperature in high voltage biased thin film PV modules[C]. 19th EUPVSEC, 2004: 2170-2173.
- 4 N G Dhere, S M Bet, H P Patil. High-voltage bias testing of thin-film PV modules[C]. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003, 2: 1923-1926.
- 5 N G Dhere, M B Pandit. Study of delamination in acceleration tested PV modules[C]. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2005: 572-575.
- 6 Peter Hacke, Kent Terwilliger, Ryan Smith, *et al.*. System voltage potential-induced degradation mechanisms in PV modules and methods for test[C]. 37th IEEE PVSC, 2011: 1-7.
- 7 P Hacke, M Kempe, K Terwilliger, *et al.*. Characterization of multicrystalline silicon modules with system bias voltage applied in damp heat[C]. 25th EUPVSEC, 2010: 3760-3765.
- 8 Berghold J, Frank O, Hoehne H, *et al.*. Potential induced degradation of solar cells and panels[C]. 25th EUPVSEC, 2010: 3753-3759.
- 9 Volker Naumann, Dominik Lausch, Stephan Großer, *et al.*. Microstructural analysis of crystal defects leading to potential-induced degradation (PID) of Si solar cells[J]. Energy Procedia, 2013, 33: 76-83.
- 10 Volker Naumann, Dominik Lausch, Andreas Graff, *et al.*. The role of stacking faults for the formation of shunts during potential-induced degradation of crystalline Si solar cells[J]. Phys Status Solidi RRL, 2013, 7(5): 315-318.
- 11 陶 亮. 多晶硅组件的电位诱发衰减的成因和防治[J]. 科技创新与应用, 2014, (6): 25-26.
- 12 曾雪华, 张志根, 蒋建平. PID效应及影响因素[J]. 太阳能, 2013, (3): 25-30.
- 13 姚 明, 郭积晶. 基于电池组件PID效应的光伏逆变器设计[J]. 大功率变流技术, 2014, (3): 49-51.
- 14 Simon Koch, Christian Seidel, Paul Grunow, *et al.*. Polarization effects and tests for crystalline silicon cells[C]. 26th EUPVSEC, 2011: 1726-1731.
- 15 泰通工业有限公司. 一种抗电势诱导衰减的太阳能电池的制备工艺: 中国, 201310096087.2[P]. 2013-06-19.
- 16 Wang Xuemeng, Ye Zirui, Shen Hui, *et al.*. Defect detection and classification evaluation system for crystalline silicon solar cells[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(3): 031602.  
王学孟, 叶子锐, 沈 辉, 等. 晶体硅太阳能电池缺陷检测与分类评价体系[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50(3): 031602.
- 17 Ma Xinjian, Lin Tao. Analysis of mono-crystalline silicon solar cells electroluminescence defects and process influencing factors[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(3): 031601.  
马新尖, 林 涛. 单晶硅太阳能电池电致发光缺陷及工艺影响因素分析[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50(3): 031601.
- 18 曹培亮. 浅谈晶体硅太阳能电池组件PID效应[J]. 科技风, 2013, (14): 15.
- 19 Li Feng, Yang Ying, Li Bishan, *et al.*. Research on the effect and stability of sulfur-passivated Si(100) surface[J]. Journal of Synthetic Crystals, 2014, 43(7): 1657-1661.  
李 峰, 杨 莺, 李碧珊, 等. Si(100)表面S钝化效果与稳定性研究[J]. 人工晶体学报, 2014, 43(7): 1657-1661.
- 20 Fan Jinxing, Shi Zhengrong, Zhang Chunguang, *et al.*. Influence of double-layer  $\text{SiN}_x$  thin film deposited by PECVD on cell[J]. Advanced Semiconductor Manufacturing Technologies, 2012, 37(3): 192-196.  
凡金星, 施正荣, 张光春, 等. PECVD沉积双层 $\text{SiN}_x$ 对太阳能电池性能的影响[J]. 半导体先进制造技术, 2012, 37(3): 192-196.

栏目编辑: 张 雁