

# VHF 等离子体光发射谱(OES)的在线监测\*

杨恢东<sup>1)2)</sup> 吴春亚<sup>1)</sup> 李洪波<sup>1)</sup> 麦耀华<sup>1)</sup> 朱 锋<sup>1)</sup> 周祯华<sup>1)</sup> 赵 颖<sup>1)</sup> 耿新华<sup>1)</sup> 熊绍珍<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(南开大学光电子所,天津 300071)

<sup>2)</sup>(东华大学理学院,上海 200051)

(2002 年 11 月 22 日收到,2003 年 1 月 3 日收到修改稿)

采用光发射谱(OES)测量技术,对不同制备条件下的甚高频(VHF)等离子体辉光进行了在线监测.实验表明,VHF 等离子体中特征发光峰( $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$ ,  $\text{H}_\alpha^*$ ,  $\text{H}_\beta^*$ 等)的强度较常规的射频(RF)等离子体明显增强,并且在制备  $\mu\text{C-Si}_3\text{H}$  的工艺条件下(H 稀释度  $R(\text{H}_2/\text{SiH}_4)=23$ )随激发频率的增加而增大,这些发光峰的变化趋势与材料沉积速率的变化规律较相似. $\text{SiH}^*$  峰等的强度随气压的变化则因硅烷 H 稀释度及功率的不同而异.高 H 稀释( $R=23$ )时, $\text{SiH}^*$  峰强度在低辉光功率下随反应气压的增大单调下降,在高辉光功率下随气压的变化呈现类高斯规律;低 H 稀释( $R=5.7$ )时, $\text{SiH}^*$  峰随气压的变化基本上是单调下降的,下降速率也与功率有关.这些结果表明,VHF-PECVD 制备  $\mu\text{C-Si}_3\text{H}$  和 a-Si:H 的反应动力学过程存在较大差异.此外,随着激发功率的增大, $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$  峰都先迅速增大然后趋于饱和,并且随着 H 稀释率的增大,将更快呈现饱和现象.通过对 OES 结果的分析与讨论可知,VHF-PECVD 技术沉积硅基薄膜可以有效提高沉积速率,而且,硅基薄膜的沉积速率的进一步提高需要综合考虑 H 稀释度、气压和功率等的匹配与优化.

关键词:甚高频等离子体化学气相沉积,氢化硅薄膜,光发射谱

PACC:8115H,7360F,7280N

## 1. 引 言

近年来,在新能源、信息显示与传感等领域具有广泛应用前景的氢化非晶硅及微晶硅薄膜材料的研究工作得到普遍关注<sup>[1-5]</sup>尤其在新能源领域的应用研究中,为了有效地降低硅基薄膜太阳能电池的成本,人们发展了许多新的制备技术以提高硅基薄膜的沉积速率<sup>[6-8]</sup>.其中与常规的 RF-PECVD 技术兼容的甚高频(VHF)PECVD,因其能够减小等离子体鞘厚度和电压而降低电子温度、增大电子密度<sup>[9]</sup>,从而实现硅基薄膜的高速率下的优质沉积而倍受青睐.然而,由于 PECVD 技术制备薄膜的微观过程十分复杂,尤其在使用 VHF 电源时,系统的耦合匹配稳定性较差,而当前的研究工作大多数基于经验积累,缺乏对薄膜沉积机理的深刻认识,使得 VHF-PECVD 技术普遍存在可控性差、重复性差的问题.因此,对薄膜制备过程中等离子体进行在线诊断,揭示反应气体辉光放电过程中的内在物理过程,对于

具有良好的光电特性的硅基薄膜高速沉积以及制备工艺的可控性、可重复性研究具有十分重要的意义.

多年来,多种实验技术已经被成功地应用于等离子体的诊断测量<sup>[10-14]</sup>.其中,光发射谱(OES)技术,因其装置简单,探测在系统外部进行,对沉积系统的微观动力学过程没有干扰,反映的是薄膜沉积过程的真实信息,在等离子体诊断研究中的应用最为广泛. Matsuda 等人用 OES 就放电动力学进行了 20 多年的研究<sup>[10]</sup>,至今仍然进行相关的工作<sup>[15]</sup>.这里,我们采用 OES 技术对硅基薄膜不同制备工艺条件下 VHF 等离子体辉光进行在线监测,并通过对 OES 测量结果的分析,获得薄膜制备过程中反应前驱物的相关信息,为甚高频 PECVD 技术沉积硅基薄膜的生长动力学过程的研究提供尽可能多的实验依据.

## 2. 实 验

本实验室 VHF-PECVD 设备为三室的分室连续

\* 国家重点基础研究规划项目(批准号:G2000028203, G2000028202)和 863 专项(批准号:2002AA303260)资助的课题.

沉积系统,其观察窗口为石英观察窗,以便探测位于紫外 288nm 附近的  $\text{Si}^*$  发射谱线.该设备的示意图如图 1 所示.样品制备的衬底温度范围在 200—350℃,甚高频激发频率变化在 60—90 MHz,功率从 5W 到 100W,反应气压通过流量大小和抽速来调节,在 60—180Pa 之间.采用波长范围在 380—780nm 的 PR650 光谱光度计和波长范围在 200—1000nm 的 SD-1000 光纤光谱仪(fiber optical spectrometer, FOS)探测样品制备过程的等离子体光发射谱.本文着重测试分析本征  $\mu\text{C-Si:H}$ 、 $\alpha\text{-Si:H}$  不同制备工艺条件的等离子体光发射谱.

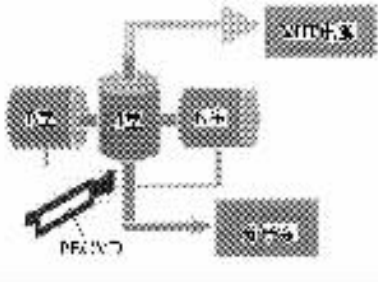


图1 VHF-PECVD 系统及 VHF 等离子体在线诊断示意图

### 3. 结果与讨论

硅烷辉光放电 OES,因各研究者的材料制备系统、生长条件、以及所用测试设备及其精度的不尽相同而有所不同.但几个关键的谱峰位置大致是相同的.如 288nm 附近的  $\text{Si}^*$  峰、412nm 附近的  $\text{SiH}^*$  峰、486nm 附近的  $\text{H}_\beta^*$  以及 656nm 附近的  $\text{H}_\alpha^*$  [7].一般认为  $\text{Si}^*$  和  $\text{SiH}^*$  与薄膜生长速率直接相关,原子 H 基团主要影响材料的晶化,同时也有钝化薄膜材料中悬键等作用.因此,本文将主要就上述几个关键峰值随制备工艺的变化情况予以分析讨论.

图 2 与图 3 是用 PR-650 和 SD-1000 光纤光谱仪分别测得的两组典型的  $\text{H}_2$  稀释  $\text{SiH}_4$  的等离子体光发射光谱曲线.其中,图 2(a)对应于不同 VHF 激发频率,图 2(b)为 VHF 与 RF 的 OES 结果的比较曲线,图 3 中的各曲线分别对应于不同的氢稀释率.

#### 3.1. 激发频率对辉光状态的影响

在其他沉积条件基本相同的制备  $\mu\text{C-Si:H}$  的情况下,随激发频率增大,等离子体发光光谱分布相应发生变化(如图 2(a)所示).图 2(a)为其关键谱峰峰值

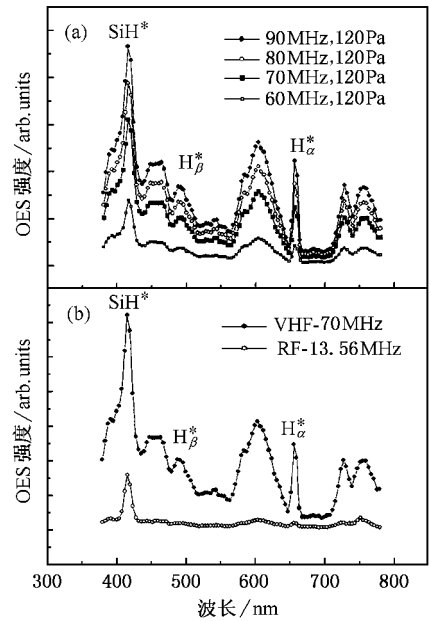


图2 不同 VHF 激发频率条件下等离子体的光发射谱

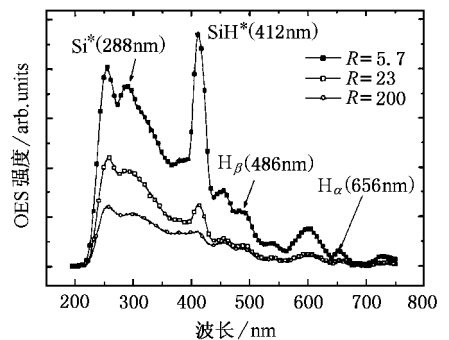


图3 不同氢稀释率条件下等离子体的光发射谱 ( $R = \text{H}_2/\text{SiH}_4$ )

随激发频率变化的关系曲线, $\text{Si}^*$ 、 $\text{SiH}^*$ 、 $\text{H}_\alpha^*$  和  $\text{H}_\beta^*$  的变化趋势基本相同,即开始随频率增长较快,随后有所减慢.一般认为,VHF-PECVD 提高生长速率的原因是电子温度降低,电子浓度增大,等离子体刻蚀能力降低.我们的 OES 测试结果表明高激发频率也有利于  $\text{Si}$ 、 $\text{SiH}$  和原子 H 等反应前驱物的生成,因为这些特征发光峰的增强与相应前驱物的数量成正比例关系.另外,在馈送气体流量与气压一定的情况下,参与反应的 Si 和 H 的量值也就被限定在一定的范围内,正是这个限度导致  $\text{Si}^*$ 、 $\text{SiH}^*$ 、 $\text{H}_\alpha^*$  和  $\text{H}_\beta^*$  光发射谱强度随频率增长的减缓.图 4(b)为对应的沉积条件下薄膜生长速率与频率的对应关系.结果

表明,对应  $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$  谱峰高者,生长速率亦高,即  $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$  峰值和生长速率随频率的变化有相一致的变化趋势,因此可推测生长速率与等离子体内  $\text{Si}^*$  峰和  $\text{SiH}^*$  峰的峰高可能有一定的比例关系,但这种关系的量化有待进一步研究.

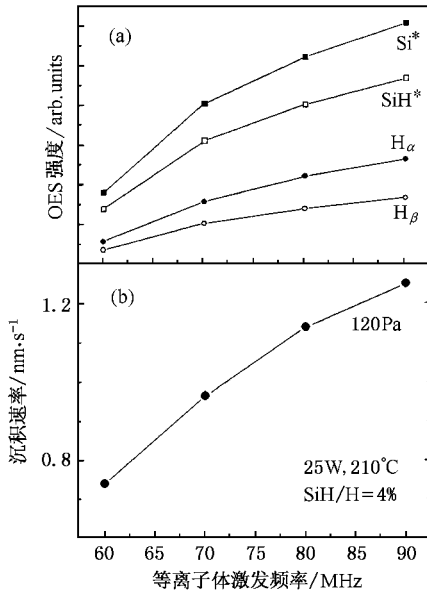


图4 (a)OES强度与(b)微晶硅薄膜沉积速率随VHF激发频率的变化曲线

我们也对已经优化的制备 a-Si:H 的射频辉光放电靠近衬底区域的光发射谱进行了测量,结果见图 4(b). 结果发现,分别用 70 MHz 和 13.56 MHz 电源激发辉光,两者的发光谱的谱形有非常明显的不同. 对我们的系统而言,用 PR650 测量时,13.56 MHz 的射频辉光放电中和原子 H 相关的发光峰幅度与  $\text{SiH}^*$  峰的比显著降低. 射频辉光放电除  $\text{SiH}^*$  的谱峰之外,与原子 H 有关的谱峰非常微弱,甚至探测不到,这表明辉光区内与原子 H 有关的基团数量非常少. 这些结果证明了为什么 RF-PECVD 易于生长非晶硅而且生长速率较慢. 而用甚高频激发辉光,辉光区离子态或中性的原子 H 数量较多,这些过量的原子 H 基团有利于加强对位能较高的 Si 实施边生长边刻蚀的作用,使生长到衬底上的 Si 原子更加容易实现有序排列,有利于微晶硅的生长或微晶/非晶过渡区稳定非晶硅薄膜材料的生长. 我们以前的研究工作已经表明:VHF-PECVD 技术制备硅薄膜时,较 RF-PECVD 更加容易晶化<sup>[16]</sup>. 用图 3 中氢稀释率  $R = 5.7$  的条件沉积出的非晶硅薄膜,沉积速率大于 5.0 nm/s,光、暗电导比可达 5 个数量级以上而且稳

定性很好<sup>[17]</sup>.

### 3.2. 反应气压对辉光放电的影响

图 5(a)(b)分别给出  $\text{SiH}_4$  在不同氢稀释度及不同辉光功率条件下,发射光谱中  $\text{SiH}^*$  峰值随反应气压的关系(其他谱峰有类似的变化曲线,在此不多赘述). 比较图 5(a)(b),不难看出,辉光放电光发射谱中各关键谱峰的强度随硅烷氢稀释度的不同呈现出不同的变化规律. 图 5(a)所示的  $F(R = 23)$  条件,激发功率不同时,  $\text{SiH}^*$  随气压的变化趋势因等离子功率不同而异:在低功率下,  $\text{SiH}^*$  峰随气压单调下降,变化率为负值;功率较大时,  $\text{SiH}^*$  随气压变化曲线有一个由小变大、到极大值、然后减小的变化趋势. 对于图 5(b)所示的氢稀释度较小的  $M(R = 5.7)$  用于制备 a-Si:H 条件,其  $\text{SiH}^*$  峰值随气压的变化呈现如  $F$  条件下高压趋势,  $\text{SiH}^*$  峰基本上是单调下降的,且下降速率也与功率有关:小功率时下降率是由慢变快,而大功率时则由快变慢,而中等功率,如 11 W,正好为两种情况的过渡区,变化速率几乎为常数.

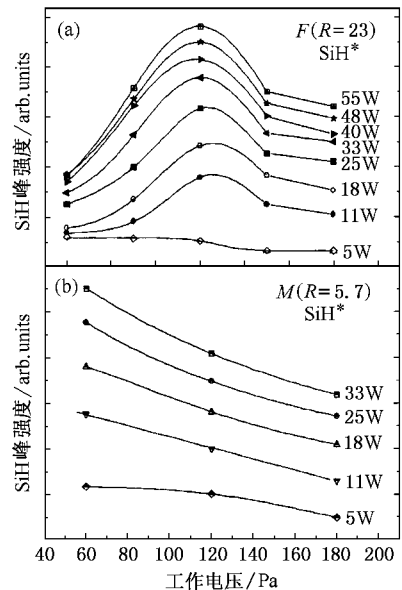


图5  $\text{SiH}^*$  OES 随工作气压的变化

从放电动力学角度看,气体放电应该遵循“巴邢曲线(Paschen curve)”,但是参与辉光放电的反应物,也对电离情况产生一定的影响. 已知  $\text{SiH}_4$  分解所需的阈值能量远低于为使其离化而需要的电子能量<sup>[10,18,19]</sup>,更低于  $\text{H}_2$  的电离能. 当高能量电子与硅烷碰撞时,  $\text{SiH}_4$  先发生分解,形成低氢化物基团

$\text{SiH}_3$ ,  $\text{SiH}_2$ ,  $\text{SiH}$  等不同的反应前驱物, 随后还将伴随着等离子体内基团和粒子的离化, 与此同时, 等离子体内部也进行着各种反应前驱物之间的聚合与复合. 因此, 等离子体内部总是处在一种分解/离化与聚合/复合相互并存与竞争的状态.

对低稀释度的  $M$  条件, 硅烷浓度高, 增高反应气压时, 虽然反应室内中间分解的各种硅类反应基团较多, 但由于各种基团或粒子的运动自由程减小, 相互间的碰撞加剧, 此时基团或粒子间的聚合/复合亦随之加剧, 从而使相关的发光基团或粒子数减少. 因此, 对硅烷浓度高的  $M$  ( $R = 5.7$ ) 辉光条件, 由于提高反应气压, 反应前驱物或基团的数量就会因聚合/复合过程较分解/离化过程增加得更快, 发光峰呈现出随气压下降的现象. 其中功率的作用, 则与其分解率相关. 在低功率下, 产生的基团少, 复合率在很大一个气压范围内增长不会很快, 故对基团和粒子数影响较小(见图 5(b)5W 线). 功率很大时(见图 5(b)18W 以上曲线), 分解率很高, 起始的聚合/复合率相应增高, 粒子数下降较快. 随气压的继续增高, 分解/离化和聚合/复合趋于平衡时, 下降率也会趋于饱和. 中等功率(见图 5(b)11W 线)情况处于两者之间, 分解率增长有限, 聚合/复合率不能忽视, 粒子数线性下降.

对高  $H$  稀释度的  $F$  条件, 因为  $\text{SiH}_4$  浓度小, 它分解的  $\text{Si}$  类中间反应基团量也少. 低功率下的气压关系与  $M$  条件相近(见图 5(a)5W 线). 在较大功率时, 由于高  $H$  稀释率下中间反应基团总量较少, 在气压增长初期, 随气压增高, 基团及粒子间碰撞加大的量就会有限, 等离子体内部以分解/离化过程为主, 受激粒子、基团数随气压的增高而增大. 随着气压的进一步提高, 等离子体内部不同粒子或基团的数目增大得很高, 聚合/复合过程将得到提高并与分解/离化过程达到动态平衡, 受激粒子、基团数将达到极值. 此后再增大反应气压, 以聚合/复合为主, 粒子或基团数开始下降, 从而呈现如图 5(a)所示的具有峰值变化的曲线.

应当指出, 反应气压增大的同时, 参与硅薄膜沉积的基团和粒子浓度也随之加大, 因此硅薄膜的沉积速率随气压的变化与等离子体中这些特征峰的变化并不完全一致, 而是表现出一定程度的延迟. 换句话说, 沉积速率最终也会随反应气压的增大表现出先增后减的变化, 但其最大值应当出现在更高的气压条件下. 这一点我们以前的工作也得到很好证

实<sup>[16]</sup>, 由于系统本身的限制( $< 200\text{Pa}$ ), 沉积速率随气压呈现单调增加的变化, 但是可以预言, 随着气压的进一步提高, 应当能够观察到 Fukawa 等人曾经报道的沉积速率达到一个极大值的现象<sup>[20]</sup>.

### 3.3. 等离子体功率以及 $H$ 稀释率对辉光状态的影响

如前面所述, 不同气体的分解、离解能不同, 它们发生辉光放电的能量阈值也不同, 因此功率的影响与所用气体种类、含量、以及其他如反应气压或激发频率等条件均有一定关系. 换言之, 任何一个条件都不是绝对独立地影响辉光放电过程. 下面主要论述不同  $H$  稀释度情况下等离子体功率对辉光放电的影响.

图 6 所示为不同  $H$  稀释率条件下,  $\text{Si}^*$  和  $\text{SiH}^*$  峰值大小随等离子体功率的变化. 其中,  $L70$  是指  $R = 204$ , 激发频率  $70\text{MHz}$ ;  $L90$  是  $R = 200$ , 激发频率为  $90\text{MHz}$ . 图 6(a) 对应  $60\text{Pa}$  的情况, 图 6(b) 对应  $120\text{Pa}$  的情况. 从图 6(a) 可以清晰看到, 由于  $M$  条件中硅烷含量高,  $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$  在低功率下迅速上升, 但随功率提高, 上升速率会有所减缓, 并有呈饱和的趋势. 这和 Matsuda 等人所述的  $\text{SiH}_4$  “耗尽”现象相关. 随稀释度增加, 硅烷量的减少,  $\text{Si}^*$  和  $\text{SiH}^*$  的峰值相继明显减少, 并更早地呈现饱和现象. 可以看到, 因激发频率的提高,  $L90$  的两个基团峰值均比  $L70$  的要高. 当气压增到  $120\text{Pa}$ , 如图 6(b) 所示, 可以看到此时低硅烷浓度  $F$  条件下的  $\text{Si}^*$  竟然比高硅烷浓度  $M$  的  $\text{SiH}^*$  峰还高. 我们推测:  $M$  条件下出现高基团产生率过早地导致复合率上升的现象, 而合适的稀释度(如  $F$  条件), 在一定功率下能够保持产生率继续上升, 从而保证了  $\text{Si}^*$  基团的继续增长趋势. 也就是说, 参与等离子体内的硅烷含量大小是问题的关键.

图 7(a)(b)和(c)分别示出在三个不同功率激发下几个关键谱峰峰值与稀释率  $R$  的关系. 由现有的结果可以看到: 在  $R = 5.7$  到  $23$  之间, 等离子体辉光光谱中的关键谱峰随  $H$  稀释度的变化非常显著, 而在  $R = 23$  之后, 这些峰值随高  $H$  稀释度的变化几乎接近, 亦即  $H$  稀释度对发射谱峰的影响不大. 而且, 相变区域附近沉积的硅基薄膜材料更加有利于其在太阳能电池领域的应用, 因此, 我们应当更多地注意这些低  $H$  稀释度区域尤其是非晶/微晶相变区域 ( $12 < R < 16$ )<sup>[21]</sup> 内关键谱峰的变化, 这将对控制材料生长速率和性能估计有较大的意义. 我们将在下一步的工作中, 对相变区域内不同  $H$  稀释度

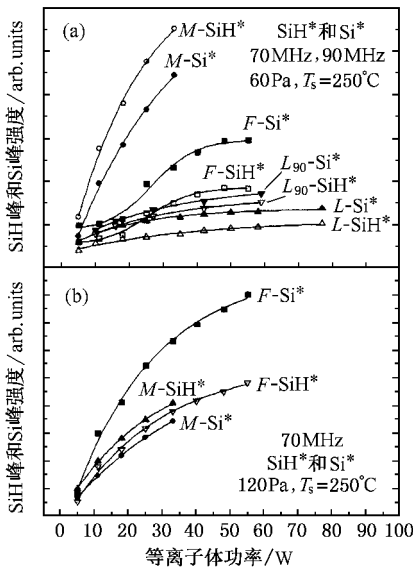


图 6 不同稀释率下  $\text{Si}^*$  和  $\text{SiH}^*$  峰值大小与功率的关系

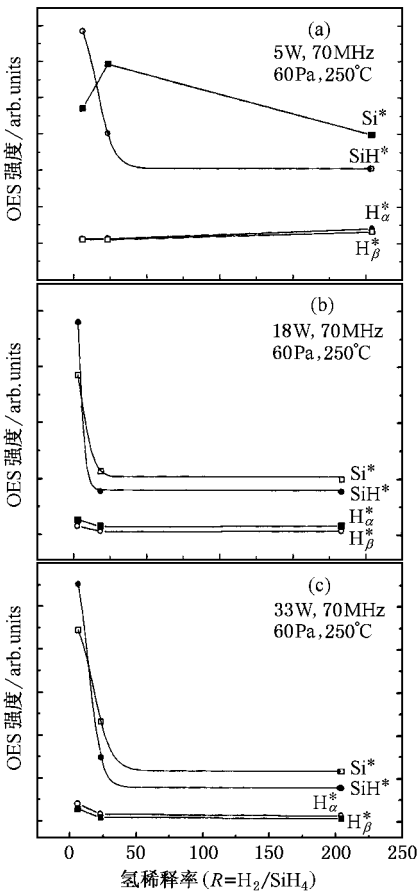


图 7 不同功率激发下关键谱峰峰值与稀释度的关系

下的 OES 的变化规律进行更加仔细的研究,增加若干不同稀释度的点,从而对 H 稀释度的影响会有更准确、更深入的认识.相关工作正在进行之中.

综上所述,由 VHF 等离子体辉光的 OES 测量及其结果分析不难得知,为了实现器件质量级的硅基薄膜的高速沉积,需要综合考虑多种沉积工艺条件的影响.提高等离子体激发频率虽然有利于沉积速率的提高,但受到设备条件的限制较大;一味提高气压是有限度的,提高功率也不是惟一因素,降低 H 稀释度则受限于非晶/微晶的转换区域.因此,必须协调 H 稀释度和气压、功率之间的匹配,实现沉积条件的优化,才能够真正实现硅基薄膜的高速沉积.

### 4. 结 论

本文采用光发射谱(OES)测量技术,对不同制备条件下的甚高频(VHF)等离子体辉光进行了在线监测.结果表明,VHF 等离子体中特征发光峰( $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$  和  $\text{H}_\beta^*$ ,  $\text{H}_\alpha^*$  等)的强度较常规的射频(RF)等离子体明显增强,并且在制备  $\mu\text{c-Si:H}$  的工艺条件下(H 稀释度  $R(\text{H}_2/\text{SiH}_4) = 23$ ),随激发频率的增加而增大,这些发光峰的变化趋势与材料沉积速率的变化规律较相似. $\text{SiH}^*$  峰等的强度随气压的变化则因硅烷 H 稀释度及功率的不同而异:高 H 稀释( $R = 23$ )时, $\text{SiH}^*$  峰强度在低辉光功率下随反应气压的增大单调下降,在高辉光功率下随气压的变化呈现类高斯规律;低 H 稀释( $R = 5.7$ )时, $\text{SiH}^*$  峰随气压的变化基本上是单调下降的,下降速率也与功率有关.这些结果表明,VHF-PECVD 制备  $\mu\text{c-SiH}$  和 a-Si:H 的反应动力学过程存在较大差异.此外,随着激发功率的增大, $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$  峰都先迅速增大然后趋于饱和,并且随着 H 稀释率的增大,将更快呈现饱和现象.

通过对 OES 结果的分析与讨论可知,VHF-PECVD 是气体放电与反应物辉光放电过程中在空间与在衬底表面的等离子体化学反应的综合结果.各个工艺条件之间是相互影响、相互制约的.欲想提高薄膜材料的生长速率,应该从 H 稀释度、气压和功率等多方面综合考虑.没有一种工艺条件是绝对控制的因素.

- [ 1 ] Shah A ,Torres P ,Tschamer R *et al* 1999 *Science* **285** 692
- [ 2 ] He S S ,Williams M J ,Stephens D J *et al* 1993 *J. Non-Cryst. Solids* **164-168** 731
- [ 3 ] Guo X X ,Zhu M F ,Liu J L *et al* 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 1542( in Chinese ) 郭晓旭、朱美芳、刘金龙等 1998 *物理学报* **47** 1542 ]
- [ 4 ] Liu M ,Wang Z O ,Xi Z H *et al* 2000 *Acta Phys. Sin.* **47** 988( in Chinese ) 刘 明、王子欧、奚中和等 2000 *物理学报* **49** 983 ]
- [ 5 ] Zhang S B ,Liao X B ,An L *et al* 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1811( in Chinese ) 张世斌、廖显伯、安 龙等 2002 *物理学报* **51** 1181 ]
- [ 6 ] Shibata N , Fukuda K , Ohtoshi H *et al* 1987 *Jpn. J. Appl. Phys.* **26** L10
- [ 7 ] Matsumura H 1989 *J. Appl. Phys.* **65** 4396
- [ 8 ] Prasad K ,Finger F ,Dubail S *et al* 1991 *J. Non-Cryst. Solids* **137-138** 681
- [ 9 ] Finger F ,Hapke P , Luysberg M *et al* 1994 *Appl. Phys. Lett.* **65** 2558
- [ 10 ] Matsuda A and Tanaka K 1982 *Thin Solid-Films* **92** 171
- [ 11 ] Roth R M , Spears K G and Wong G 1984 *Appl. Phys. Lett.* **45** 28
- [ 12 ] Paranjpe A P , McVittie J P and Sell S A 1990 *J. Appl. Phys.* **67** 6718
- [ 13 ] Mataras D ,Cavadias S , Rapakoulis D 1989 *J. Appl. Phys.* **66** 119
- [ 14 ] Koh J , Ferlauto A S , Rovira P I *et al* 2000 *J. Non-Cryst. Solids.* **266-269** 43
- [ 15 ] Suzuki S , Kondo M and Matsuda A 2001 *Growth of Device Grade  $\mu$ -Si Film at over 50A/s Using PECVD PVSEC-12 Korea*
- [ 16 ] Yang H D ,Wu C Y ,Mai Y H *et al* 2002 *Chinese Journal of Semiconductors* **23** 902
- [ 17 ] Yaohua Mai 2002 *Proceeding of the 8th International Conference on Electronic Materials , IUMRS-ICEM2002 Xian* p288
- [ 18 ] Perkins G G ,Austin E R and Lampe F W 1979 *J. Am. Chem. Soc.* **101** 1109
- [ 19 ] Potzinger and Lampe F W 1969 *J. Phys. Chem.* **73** 3912
- [ 20 ] Fukawa M ,Suzuki S , Guo L *et al* 2001 *Solar Energy Materials & Solar Cells* **66** 217
- [ 21 ] Demichelis F , Pirri C F , Trisso E 1993 *Phil. Mag.* B **67** 331

# Diagnosis of VHF plasmas with optical emission spectroscopy<sup>\*</sup>

Yang Hui-Dong<sup>1,2)</sup> Wu Chun-Ya<sup>1)</sup> Li Hong-Bo<sup>1)</sup> Mai Yao-Hua<sup>1)</sup> Zhu Feng<sup>1)</sup> Zhou Zhen-Hua<sup>1)</sup>  
Zhao Ying<sup>1)</sup> Geng Xin-Hua<sup>1)</sup> Xiong Shao-Zheng<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Institute of Photoelectronics, Nankai University, Tianjin 300071, China

<sup>2)</sup> School of Science, Donghua University, Shanghai 200051, China

( Received 22 November 2002 ; revised manuscript received 3 January 2003 )

## Abstract

Very high frequency ( VHF ) Plasma and its glow discharge mechanism during the deposition of  $\mu\text{c-Si:H}$  film have been studied by means of optical emission spectroscopy ( OES ) technique in this paper. From the measured OES spectra, where the valuable information on the  $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$ ,  $\text{H}^*$  and  $\text{H}_2^*$  intensities were provided, the influence of deposition conditions on the VHF plasma has been investigated. The intensities of  $\text{SiH}^*$ ,  $\text{H}_2^*$  and  $\text{H}^*$  of VHF-gas deposition ( GD ) to deposit  $\mu\text{c-Si:H}$  were much higher than those of RF-GD to deposit a-Si:H. Under the experiment condition to deposit  $\mu\text{c-Si:H}$ ,  $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$ , the  $\text{H}^*$  and  $\text{H}_2^*$  intensities increased obviously with the excitation frequency, and the variation of the deposition rate with the excitation frequency was similar to that of  $\text{SiH}^*$ . The  $\text{SiH}^*$  intensity of VHF-GD became higher than its  $\text{Si}^*$  intensity as the hydrogen dilution ratio decreased. The influences of the hydrogen dilution ratio on the plasma optical emission spectra also depended on the reaction pressure, the excitation power as well as the excitation frequency. In the case of the hydrogen ratio (  $R = \text{H}_2/\text{SiH}_4$  )  $R = 23$ , the  $\text{SiH}^*$  intensity decreased monotonously against the excitation pressure at a low excitation power ( e. g. 5W ). But the  $\text{SiH}^*$  intensity increased at first, then decreased with the increase of the pressure at the high excitation power ( e. g. 11 – 55W ). In the case of the hydrogen ratio  $R = 5.7$ , the  $\text{SiH}^*$  intensity decreased monotonously against the excitation pressure for all the excitation power. The  $\text{Si}^*$ ,  $\text{SiH}^*$ ,  $\text{H}^*$  and  $\text{H}_2^*$  intensities also increased with the excitation power and then trended to be saturated, and they are easier to saturate with the increase of the hydrogen dilution ratio. All the experimental results demonstrated that the influences of the excitation frequency, the excitation power, the reaction pressure and the hydrogen dilution ratio were correlative, none of the deposition conditions is the critical factor to improve the deposition rate.

**Keywords** : VHF-PECVD, Si:H thin film, optical emission spectroscopy ( OES )

**PACC** : 8115H, 7360F, 7280N

<sup>\*</sup> Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China ( Grant Nos. G2000028202 and G2000028203 ) and the 863 ( Grant No. 2002AA303260 ).