



## 可调谐 TEA CO<sub>2</sub> 激光辐照 SiH<sub>4</sub> 击穿过程的研究\*

张连水 张贵银\*\* 傅广生 韩理 张开锡

(河北大学物理系, 071002)

### Study on the process of SiH<sub>4</sub> breakdown irradiated by frequency tunable TEA CO<sub>2</sub> laser

Zhang Lianshui, Zhang Guiyin, Fu Guangsheng, Han Li, Zhang Kaixi

(Physics Department, Hebei University, Baoding)

**Abstract:** The process of SiH<sub>4</sub>/Ar breakdown irradiated by frequency tunable TEA CO<sub>2</sub> laser has been studied. The breakdown threshold of SiH<sub>4</sub>/Ar has been measured as a function of laser energy, laser frequency and gas pressure. Based on the experimental results, the physical process of SiH<sub>4</sub>/Ar breakdown is proposed to be a process of optic-breakdown through resonant absorption of laser beams

**Key words:** threshold, CO<sub>2</sub> laser, SiH<sub>4</sub>, breakdown

## 一、引言

激光等离子体淀积硅膜在半导体工业得到广泛应用。在这种技术中, SiH<sub>4</sub> 通常被用做各种硅膜生长的高纯硅源。现已有很多关于 SiH<sub>4</sub> 激光等离子体淀积过程的报道<sup>[1~3]</sup>, 其中普遍采用 CO<sub>2</sub> 激光的 10 P(20) 线做激发源, 研究激光辐照下, SiH<sub>4</sub> 离解到硅膜形成的机理, 但都没有研究产生等离子体的频率效应。考虑到 SiH<sub>4</sub> 分子振转结构的性质及生产特定硅膜所需实验条件的特殊性, 红外光诱发 SiH<sub>4</sub> 的击穿过程应与激光频率密切相关, 进而将对淀积过程产生重要影响。基于上述思想, 本工作在有利于硅膜生长的实验参量(气压、激光能量等)范围内, 对 SiH<sub>4</sub> 分子的红外吸收及等离子体形成过程做了进一步研究, 结果表明 SiH<sub>4</sub> 激光等离子体的形成强烈地依赖于激光频率。

## 二、实验装置

图 1 中, 光栅选频的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器为激发源, 它在 9.2~10.8 μm 的范围内输出 60 多条谱线, 每条谱线有各自特有的固定频率。CO<sub>2</sub> 激光经  $f=15$  cm 的锗透镜聚焦, 垂直射入反应室, 诱导 SiH<sub>4</sub>/Ar 系统击穿, 焦斑直径  $d=2$  mm, 光电倍增管 (PM) 接收焦点荧光到 Boxcar,

\* 国家自然科学基金资助项目; \*\* 现在华北电力学院工作。

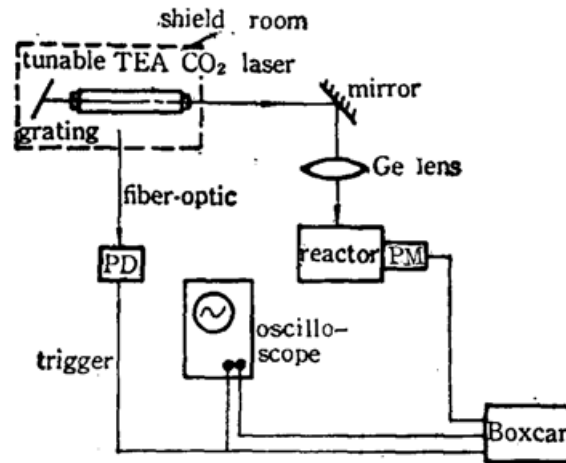


Fig. 1 Experimental setup

取样 10 次平均后得到总的荧光强度, 用 SR-37 型双踪示波器观察信号波形。CO<sub>2</sub> 激光器的触发电路中, 球隙放电产生辉光, 用光电二极管 (PD) 转换此辉光作为系统的触发信号, 触发重复速率为 2 Hz。激光能量用标定过的碳斗能量计测量, 为了消除激光器输出能量的不稳定性, 取 10 个脉冲的平均值, 再考虑其他因素造成的误差, 估计测量击穿阈值的准确度高于 20%。反应室真空度可达  $10^{-2}$  Torr 以上, 样品气体 SiH<sub>4</sub>/Ar 的比例为 2.5%。

### 三、实验结果

SiH<sub>4</sub>/Ar 系统在焦点处被 CO<sub>2</sub> 激光击穿, 发出较强的荧光, 荧光强度与激光能量、样品气压、谱线频率均有关系。

实验发现<sup>[4]</sup>, 气压在 100~200 Torr 范围内有较强的荧光, 因此我们测量了 180 Torr 压强下, 荧光强度随激光能量的变化, 图 2 示出了用几条不同频率谱线击穿 SiH<sub>4</sub>/Ar 气体的测量结果。由此图可看出: (1) 在每条谱线上, 荧光强度均随激光能量的提高而增大, 这和 SiH<sub>4</sub> 分解量与激光能量的关系一致<sup>[5]</sup>; (2) 当激光能量相同时, 用不同频率的激光谱线击穿 SiH<sub>4</sub>, 产生的荧光强度不同; (3) 无论用哪条谱线击穿 SiH<sub>4</sub> 均存在一阈值, 对不同频率的 CO<sub>2</sub> 激光谱线, 这一阈值能量不同。如对 10P(20) 线, 阈值能通量为  $3.82\text{J}/\text{cm}^2$ 。逐渐降低 CO<sub>2</sub> 激光器电源电压至气体刚刚被击穿, 测量 180 Torr 压强下, 不同频率的谱线击穿 SiH<sub>4</sub> 所需阈值能量, 如图 3 所示。结果表明: 用不同频率的谱线击穿 SiH<sub>4</sub> 所需阈值能量不同, 即 SiH<sub>4</sub> 分子的击穿过程与频率有关, 其中 10P(30)、10P(20)、9P(8) 处阈值能量较低。与 SiH<sub>4</sub> 分子的单脉冲激光光声光谱<sup>[6]</sup> 相比较, 阈值能量随频率的变化与光声信号随频率的变化规律符合得较好, 这表明 SiH<sub>4</sub> 分子击穿过程的频率效应与其线性吸收规律一致。

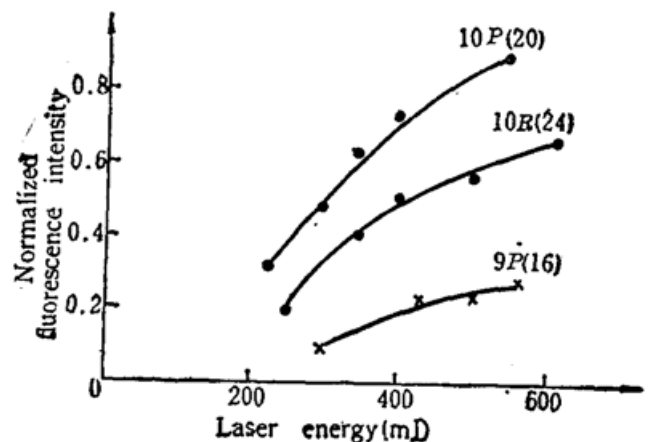


Fig. 2 Fluorescence intensity vs. laser energy on different lines

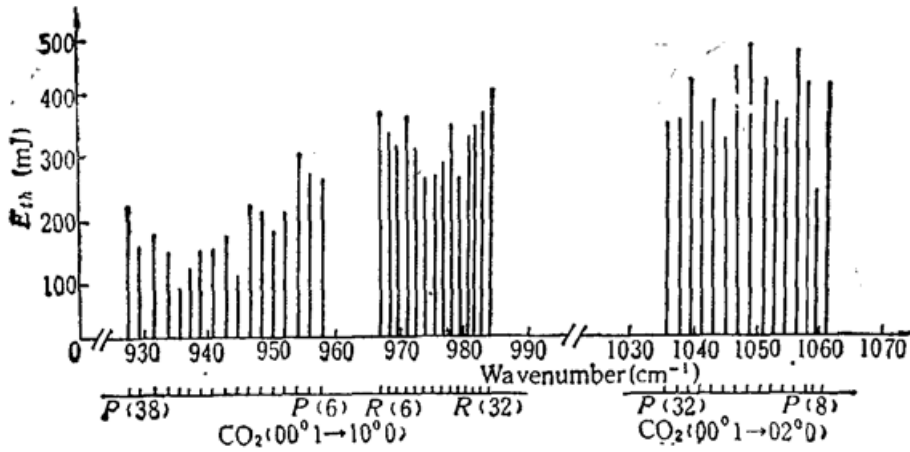


Fig. 3 The threshold of SiH<sub>4</sub>/Ar breakdown vs. laser frequency

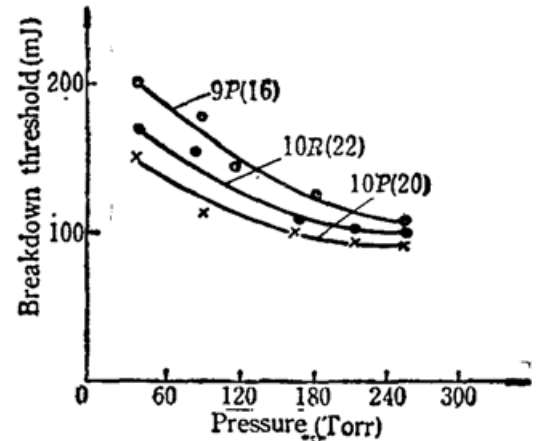


Fig. 4 The threshold of SiH<sub>4</sub>/Ar breakdown vs. gas pressure

为了探讨气压对击穿过程的影响,我们测量了激光谱线频率一定的条件下,击穿阈值随气压的变化。图4示出了用几条不同频率谱线的测量结果,在每条谱线上,阈值能量随气压的变化规律一致,均随气压的升高而减小。理论研究表明<sup>[9]</sup>:在低气压下,气体的击穿阈值为

$$I_{th} = \frac{n}{C_i} \left( \frac{\omega}{\nu_0} \right)^2 \left[ \frac{1}{\tau_L} \ln(2.3 n_0 V_f) + \frac{2D}{A^2} \right]$$

其中  $\nu_0$  为碰撞频率。由于  $\nu_0 \propto$  气压  $P$ , 所以  $I_{th} \propto \frac{1}{P^2}$ , 再考虑到激光脉宽、焦斑大小两因素,本文实验结果与理论符合的较好。

#### 四、讨 论

CO<sub>2</sub> 激光作用于 SiH<sub>4</sub>/Ar 系统,处于基态的 SiH<sub>4</sub> 分子共振吸收一个光子到达第一激发态,处于第一激发态的 SiH<sub>4</sub> 分子通过碰撞多光子过程,发生近共振的 V-V 能量转移,使一些 SiH<sub>4</sub> 分子被激发至准连续态,这一过程对光的吸收主要在基态和第一激发态间进行,吸收是具有选择性的,与激光频率密切相关。处于准连续态的 SiH<sub>4</sub> 分子通过碰撞或吸收光子发生离解、离化,为产生等离子体提供了初始电子,这些初始电子从激光场获得足够的能量后,使与其碰撞的 SiH<sub>4</sub> 分子电离,同时产生大量电子和离子,形成等离子体。在这一过程中,电子对光子的吸收是没有选择性的,吸收能量的多少完全由激光强度控制。

综上所述,在 SiH<sub>4</sub> 等离子体的形成过程中, SiH<sub>4</sub> 分子被激发至准连续态是最起始的过程,这时 SiH<sub>4</sub> 分子对光子的吸收以单光子过程为主,这就解释了为什么击穿阈值随频率的变化与线性吸收规律一致。SiH<sub>4</sub> 分子对光子吸收的选择性决定了其等离子体的形成强烈地依赖于激光频率。我们认为:在强 TEA CO<sub>2</sub> 激光作用下, SiH<sub>4</sub>/Ar 系统的击穿过程是一有共振吸收的光学击穿过程。利用这一反应机理即可解释本文实验结果中的频率效应和阈值效应。

#### 参 考 文 献

- 1 H. Stafast, *Appl. Phys.*, **A45**, 93 (1988)
- 2 傅广生,董丽芳 *et al.*, *中国激光*, **14**(11), 671 (1987)
- 3 董丽芳,傅广生 *et al.*, *半导体学报*, **10**(3), 1~5 (1989)
- 4 傅广生,董丽芳 *et al.*, *半导体学报*, **11**(3), 183 (1990)

- 5 傅广生, 韩理 *et al.*, 应用激光联刊, 5(6), 1(1985)  
 6 张连水, 张贵银 *et al.*, 中国激光, 待发表  
 7 F. Morgan, *J. Phys. D*, 4, 225~235(1971)

(收稿日期: 1990年7月9日; 修改稿收到日期: 1990年10月17日)

## 粉末测试技术在探索新型有机倍频材料中的应用

曹 阳 王志明 钟学军 黄丽娟 薛万川 李 明  
 (苏州大学化学系, 215006) (广西师范大学化学系)

### Application of powder test to the study of new organic materials for frequency doubling

*Cao Yang, Wang Zhiming, Zhong Xuojun, Huang Lijuan*  
 (Department of Chemistry, Suzhou University, Suzhou)

*Xue Wancuan, Li Ming*  
 (Department of Chemistry, Guangxi Teachers University)

**Abstract:** By Kurtz's powder technique, we have studied the SHG properties of fifty organic compounds, which include derivatives of *p*-nitroaniline, 2,4-dinitroaniline, *p*-nitrophenyldiamine, diphenyl, azobenzene, diphenyl ether and diphenyl sulfide. Eight of them are found to be promising practical nonlinear organic materials.

**Key words:** frequency doubling effect, powder technique, organic nonlinear optical materials

## 一、引 言

Davydor (1967) 等研究发现, 具有以下性质的物质分子, 一般都有较大的二阶极化率  $\beta$ : (1) 电子跃迁非常大; (2) 伴随着跃迁, 分子偶极矩会发生显著变化。而芳香族化合物分子由于其离域  $\pi$  电子的作用, 正好具有这样的性质特征。所以, 我们侧重于对硝基苯胺类、2, 4-二硝基苯胺类、对硝基邻苯二胺类、联苯类、偶氮苯类、二苯醚和二苯硫醚类七个系列的五十个化合物进行了搜索性的研究。为了避免在工作的一开始就要去进行困难的单晶生长, 我们根据 S. K. Kurtz 和 T. T. Perry (1968)<sup>[1]</sup> 报道的“粉末测试技术”原理, 用在市面上买得到的国产元器件, 装置了一台能对粉末样品进行检测的仪器, 并用该仪器对上述几个系列的样品加以测试, 发现了八个很有希望的有机倍频新材料。

## 二、测试方法

### 2.1 测试装置

装置的原理框图如图 1 所示, 波长为  $1.06 \mu\text{m}$  的激光脉冲从激光射出后经分束器分成两