

# 低温 Si-GSMBE 中 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 的热裂解 及对 Si 生长的影响

李建平 黄大定 刘金平 刘学锋 李灵宵 朱世荣 孙殿照 孔梅影

(中国科学院半导体研究所材料中心 北京 100083)

**摘要** 为提高外延 SiGe/Si HBT 材料中 Si 发射极的生长速率,研究了  $\text{Si}_2\text{H}_6$  预热温度对 Si 生长速率的影响,结果表明在一很窄的温区内, Si 的生长速率提高了一倍,进一步升温 Si 的生长速率迅速下降. 用四级质谱仪对低温 Si-GSMBE 中  $\text{Si}_2\text{H}_6$  的热裂解过程进行了研究,对该现象做了解释.

**PACC:** 6855, 8110B

Si/SiGe/Si HBT 由于具有比 Si 器件更高的工作频率,更快的开关速度和低噪声特性,引起了国际上的广泛重视<sup>[1]</sup>. 我们近年来采用 GSMBE 外延 SiGe/Si HBT 材料,取得了一定进展. 为了保证异质结界面及杂质分布的陡峭,扩大 SiGe 共格生长范围,抑制岛状生长,一般采用低温生长. 这时低温气源生长 Si 生长速度很慢,给外延 SiGe/Si HBT 材料中 Si 发射极带来困难. 我们研究了  $\text{Si}_2\text{H}_6$  预热温度对 Si 生长速率的影响,结果表明在一很窄的温区内, Si 的生长速率有很大提高,进一步升温 Si 的生长速率迅速下降. 用四级质谱仪对低温 Si-GSMBE 中  $\text{Si}_2\text{H}_6$  的热裂解过程进行了研究,对该现象做了解释.

本工作是在国产 GSMBE 系统上进行的. 在  $\text{Si}_2\text{H}_6$  喷管前加装了一个加热器,用来预热  $\text{Si}_2\text{H}_6$ . 一台 VG-SX300 型四级质谱仪与分析室相连. 系统本底真空为  $2.67 \times 10^{-7}$  Pa. 生长时  $\text{Si}_2\text{H}_6$  流量稳定为 4 sccm, 生长温度为 600 . 详细的生长条件已另做报道<sup>[2]</sup>. 用四级质谱仪研究低温 Si-GSMBE 中  $\text{Si}_2\text{H}_6$  的热裂解过程时,气源由质量流量计控制经过加热器后进入生长室,打开生长室与分析室间的闸板阀,由四级质谱仪探测气体成分. 测量时用闸板阀控制分析室真空约为  $6.67 \times 10^{-5}$  Pa. 生长的外延层厚度经俄歇电子能谱,扩展电阻及台阶仪测量,所得结果符合较好.

图 1 是当  $\text{Si}_2\text{H}_6$  预热温度从 100 变到 650 , Si 生长速率的变化. 从图上可以看出,在 400 以内, Si 的生长速率基本保持不变,随后急剧增加,到 500 又急剧下降. 在 480 时 Si 的生长速率到达最大,约为不预热  $\text{Si}_2\text{H}_6$  时的两倍. 显然  $\text{Si}_2\text{H}_6$  预热过程对 Si 生长有很大的

李建平 男, 1956 年出生, 实验师, 现从事硅基半导体材料生长及器件研制

黄大定 男, 1941 年出生, 高级工程师, 现从事硅基半导体材料生长及器件研制

刘金平 男, 1972 年出生, 博士生, 现从事半导体材料外延生长及器件研制

1998-06-17 收到, 1998-08-25 定稿

## 影响

当  $\text{Si}_2\text{H}_6$  预热温度由 217 到 600 变化时,  $\text{Si}_2\text{H}_6$  热裂解后产生的成分示于图 2 其中, 质量数为 2 的气体为  $\text{H}_2$ , 我们认为质量数为 28~ 32 间的气体是  $\text{SiH}_n$  ( $n= 0\sim 4$ ) 分子. 质量数为 56~ 62 间的气体是  $\text{Si}_2\text{H}_m$  ( $m= 0\sim 6$ ) 分子. 由此实验结果可以看出:

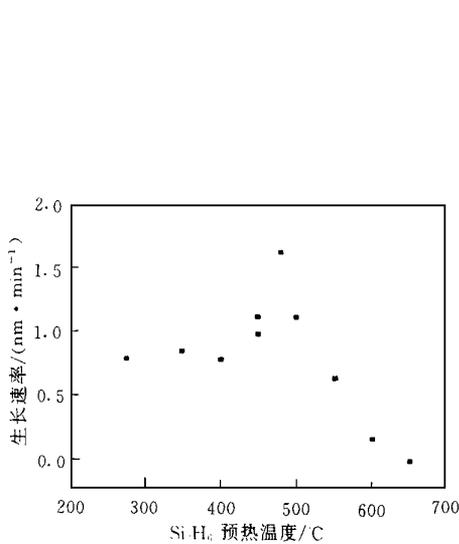


图 1  $\text{Si}_2\text{H}_6$  预热温度与 Si 的生长速率的关系

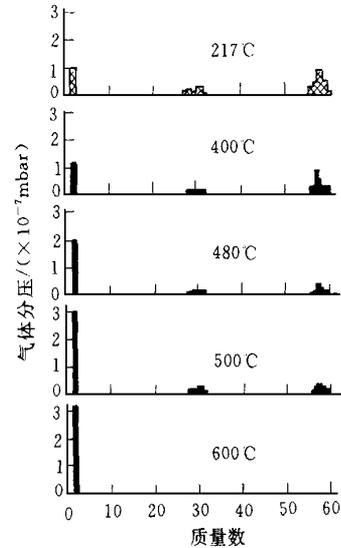


图 2 不同  $\text{Si}_2\text{H}_6$  预热温度时, 由四级质谱仪探测气体成分与分压的关系

a) 由 200 开始,  $\text{Si}_2\text{H}_6$  已经热裂解产生多种  $\text{Si}_2\text{H}_m$  分子, 及  $\text{SiH}_n$  分子, 同时有  $\text{H}_2$  产生

b)  $\text{Si}_2\text{H}_6$  热裂解有三个阶段 第一阶段, 400 以下  $\text{Si}_2\text{H}_m$  分子, 及  $\text{SiH}_n$  分子的总量各自变化很小; 第二阶段, 400~ 500 间,  $\text{Si}_2\text{H}_m$  分子总量随温度上升而下降, 而  $\text{SiH}_n$  分子的总量则略有增加 第三阶段, 500 以上  $\text{Si}_2\text{H}_m$  分子, 及  $\text{SiH}_n$  分子的总量急剧减少.

c)  $\text{H}_2$  总量随温度上升而上升.

由此可以得出结论:

·  $\text{Si}_2\text{H}_6$  热裂解是一个复杂的过程, 它有很多产物产生 各产物量与温度有关

· 在 400 以下此反应过程进行缓慢, 在 400~ 500 间  $\text{Si}_2\text{H}_6$  迅速裂解为  $\text{Si}_2\text{H}_m$  分子, 进而裂解为  $\text{SiH}_n$  分子, 放出  $\text{H}_2$

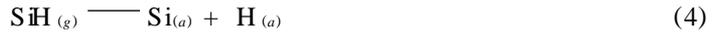
· 500 以上  $\text{Si}_2\text{H}_m$  分子, 及  $\text{SiH}_n$  分子的总量急剧减少而  $\text{H}_2$  总量也上升, 表明这些分子裂解为 Si 而沉积下来

从上面关于  $\text{Si}_2\text{H}_6$  热裂解过程的讨论可以看出它对 Si 生长的影响 以  $\text{Si}_2\text{H}_6$  为源在 Si (100) 面生长 Si, 一般认为经过以下几个过程<sup>[3]</sup>:



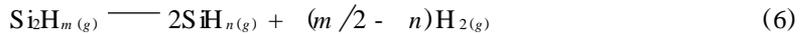
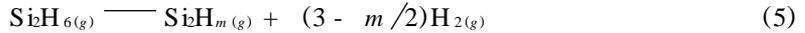
$\text{Si}_2\text{H}_6$  在 Si 表面化学吸附为 2 个  $\text{SiH}_{3(a)}$  分子, 进一步分解为  $\text{SiH}_{2(a)}$ ,  $\text{SiH}_{(a)}$  及表面吸附  $\text{H}_{(a)}$ , 进而生成 Si 在表面沉积:





一般说来,在 Si-GSMBE 中, Si 生长速率由气源的吸附(1)及氢的脱附(4)两个过程决定<sup>[3]</sup>。在高温,小流量源气下,气源的吸附控制 Si 生长速率,而在低温,大流量源气下,氢的脱附为控制步骤

从我们的实验中可以看到,在超高真空的生长室内, SiH<sub>6</sub> 在到达衬底前已分解不同质量数的分子团 SiH<sub>m</sub> ( $m = 0 \sim 5$ ), SiH<sub>n</sub> ( $n = 0 \sim 3$ ):



反应(5), (6)进行的程度及各产物的量与很多因素有关,比如生长室的构造及真空,裂解炉的结构,等等

在我们的实验条件下, 400 以下,反应(5), (6)进行缓慢,预热主要是提高了 SiH<sub>m</sub>, SiH<sub>n</sub> 等分子团的平均能量,能提高它们的吸附能力<sup>[4]</sup>,因此这时预热对气源的吸附控制的高温生长过程有较大影响<sup>[5]</sup>,但对低温生长影响较小;在 400~500 间, SiH<sub>6</sub> 裂解为 SiH<sub>m</sub> ( $m = 0 \sim 5$ ) 分子及 SiH<sub>n</sub> ( $n = 0 \sim 3$ ) 分子,放出部分 H<sub>2</sub>,使 Si 表面的吸附氢减小,相当于反应(4)加快,从而利于低温生长;500 以上, SiH<sub>6</sub> 完全裂解为固体 Si,在气道内沉积,反而使 Si 的生长速率大大下降。以上分析与图 1 完全相符。

综上所述,我们认为在低温 Si-GSMBE 中,将 SiH<sub>6</sub> 在 450~500 间热裂解能提高 Si 的生长速率,过高热裂解温度使 SiH<sub>6</sub> 在到达衬底前完全裂解为固体 Si,反而不利于外延

## 参 考 文 献

- [1] R. Szveda, III-V Review, 1997, 10(4): 29
- [2] J. P. Liu, X. F. Liu, J. P. Li *et al.*, J. Cryst Growth, 1997, 181: 441.
- [3] T. R. Bramblett, Q. Lu, T. Karasawa *et al.*, J. Appl Phys, 1994, 76(3): 1884
- [4] J. E. Engstrom, L. Q. Xia, M. J. Furijan and D. A. Hasen, Appl Phys Lett, 1993, 63(13): 1821.
- [5] J. P. Liu, M. Y. Kong, D. D. Huang *et al.*, J. Cryst Growth (accepted).

## Disilane Cracking Process and Its Effect on Low-Temperature Si Growth in GSMBE

Li Jianping, Huang Dading, Liu Jinping, Liu Xuefeng,  
Li Lingxiao, Zhu Shirong, Sun Dianzhao, Kong Meiyang

(Materials Science Center, Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Received 17 June 1998, revised manuscript received 25 August 1998

**Abstract** The effect of disilane cracking temperature on low-temperature Si growth rate in GSMBE is studied. It is found that Si growth rate remains nearly unchanged when cracking temperature is below 400. Further increase of cracking temperature leads to a quick increase in growth rate and then a sharp decrease. Disilane cracking process is analyzed by in-situ QMS and its effect on Si growth is discussed.

**PACC:** 6855, 8110B