

半导体工艺手册

(内部刊物)

H21

锦州晶体管厂情报资料室

一九七三年

半导体工艺手册

(内部刊物)

锦州晶体管厂情报资料室

1972.

目 錄

第一部分 半导体材料	1
1. 多晶硅的生产方法.....	1
2. 四氯化硅和三氯氢硅氢还原法比较.....	2
3. 四氯化硅的性质.....	2
4. 三氯氢硅的物理化学性质.....	5
5. 硅烷的性质.....	7
6. 半导体材料的一些重要物理性质.....	8
7. 某些三、五族化合物的重要生长条件和外延膜特性.....	13
第二部分 金属、合金及化学试剂	14
1. 最主要半导体材料的腐蚀剂.....	14
2. 锗、硅、砷化镓常用的合金材料.....	20
3. 常用合金品种及其化学成分.....	21
4. 高纯金属纯度的表示方法.....	24
5. 常用金属与合金的物理性质.....	25
6. 常用金属与合金的腐蚀剂.....	28
7. 常用酸碱的性质.....	29
8. 常用有机溶剂的性质.....	30
9. 几种典型的光致抗蚀剂及其性能.....	31
10. 制版、光刻工艺中常用的试剂.....	32
11. 电镀液常用的试剂.....	35
第三部分 晶体管及结特性的基本公式	39
第四部分 高频大功率晶体管设计考虑	41
1. 高频大功率晶体管设计程序.....	41
2. 高频大功率晶体管各种设计图形所对的工艺参数要求.....	41
3. 高频大功率晶体管的设计考虑.....	43
4. 高频大功率晶体管图形设计标准.....	43
5. 晶体管参数相互关系.....	44
第五部分 晶体管基本特性(参考)	45
第六部分 晶体管参数及其他符号说明	48
第七部分 氧化、硼、磷、砷、锑、金扩散及离子注入	49
1. 氧化.....	49
2. 硅中的杂质扩散.....	62
3. 硼扩散.....	67
4. 磷扩散.....	73
5. 砷扩散.....	77
6. 锑扩散.....	80
7. 金在硅中的扩散.....	83

8.	离子注入	86
9.	方块电阻的测量	89
10.	结深的测量	91
11.	电子和空穴在硅中的特性	93
12.	硅的杂质扩散分布曲线	96
13.	p-n 结的一些特性	110
第八部分 晶体管及集成电路测试原理		116
1.	晶体管参数测试	116
2.	场效应晶体管(MOS)的参数测试	122
3.	集成电路的测试	125
第九部分 各国半导体器件型号命名方法		135
1.	国产半导体器件型号命名法	135
2.	日本	137
3.	美国	137
4.	英国	138
5.	法国	139
6.	西德	139
7.	西欧(英、西德、荷、比等国)联合体系命名法	140
8.	苏联	140
第十部分 各种图表及其他		143
1.	面积换算表	143
2.	体积换算表	143
3.	长度换算表	144
4.	质量换算表	145
5.	容量换算表	145
6.	时间换算表	146
7.	电流换算表	146
8.	电压换算表	146
9.	电容换算表	146
10.	物理常数表	147
11.	能量换算因子	150
12.	各种杂质在硅中的分凝系数	150
13.	分贝换算表	151
14.	无线电波段、频率范围分类对照表	154
15.	常用数学常数表	154
16.	各种气瓶标志	154
17.	化学元素周期表	155
18.	各种金属的蒸发温度	156
19.	热电偶种类及使用的温度范围	156
20.	常用器皿的清洁处理	156
21.	石英玻璃一些主要性能比较	157
22.	露点温度与含水量对照表	158
23.	铂—铂(90%)铑(10%)热电偶的温度—毫伏当量表	160

第一部分 半导体材料部分

表 1

1. 多晶硅的生产方法

序号	方法	原料		沸点	制法		制备		方法	多晶制备	
		原料	沸点		制法	制法	精制	析出位置		析出状态	
1	硅烷法	SiH ₄	-112°C	$Mg_2Si + NH_4Cl \rightarrow SiH_4 + 4NH_3 + 2MgCl_2 + Q$	吸附或低温精馏	热分解	SiH ₄ → Si + 2H ₂	800—900°C	钼丝或硅棒	多晶棒	
2	三氯氢硅 氢还原法	SiHCl ₃	31.5°C	Si + 3HCl → SiHCl ₃ + H ₂	精馏, 化学精制	氢还原	SiHCl ₃ + H ₂ → Si + 3HCl	1050°C	钼丝或硅棒	多晶棒	
3	三氯氢硅 热分解法	SiHCl ₃	31.5°C	Si + 3HCl → SiHCl ₃ + H ₂	精馏, 予热分解	热分解	4SiHCl ₃ → Si + 2H ₂ + 3SiCl ₄	950°C	石英管	块状	
4	四氯化硅 氢还原法	SiCl ₄	57.6°C	Si + 2Cl ₂ → SiCl ₄ + Q	精馏	氢还原	SiCl ₄ + 2H ₂ → Si + 4HCl	1100°C	钼丝	棒状	
5	四氯化硅 锌还原法	SiCl ₄	57.6°C	Si + 2Cl ₂ → SiCl ₄ + Q	精馏	锌还原	SiCl ₄ + 2Zn → Si + 2ZnCl ₂	1000°C	石英管	针状	
6	四氯化硅 钠还原法	SiCl ₄	57.6°C	Si + 2Cl ₂ → SiCl ₄ + Q	精馏	钠还原	SiCl ₄ + 4Na → Si + 4NaCl				
7	四碘化硅 氢还原法	SiI ₄	290°C	Si + 2I ₂ → SiI ₄ + Q	蒸再区	氢还原	SiI ₄ + 2H ₂ → Si + 4HI	950°C	钼管	块状	
8	四碘化硅 热分解法	SiI ₄	290°C	Si + 2I ₂ → SiI ₄ + Q	蒸再区	热分解	SiI ₄ → Si + 2I ₂	1500°C	钼丝	棒状	

2. 四氯化硅和三氯氢硅氢还原法比较

表 2

三氯氢硅氢还原法	四氯化硅氢还原法
1. 合成温度较低(280~300°C), 原料硅中的杂质生成氯化物较少。	1. 合成温度较高 (450°C~500°C), 原料硅中杂质生成氯化物较多。
2. 沸点低, 精馏提纯时易于和杂质氯化物分离。	2. 沸点高, 精馏提纯时较难分离杂质氯化物。
3. 单位重量的三氯氢硅中含硅量高 (20%), 因此提取一公斤多晶硅所需的原料较少。	3. 单位重量的四氯化硅含硅量低 (16.5%); 提取一公斤多晶硅所需的原料较多。
4. 易于分解, 反应温度低 (900~1100°C), 在同等条件下的产率高, 实收率高, 有时可以高一倍。	4. 较难分解, 反应温度高 (1100~1200°C), 在同等条件下的产率和实收率低。
5. 需要合成氯化氢气, 因此合成的工艺较复杂, 需要设备多。	5. 有氯气即可合成, 所需设备少, 工艺流程简单。
6. 易燃, 操作要求严格。	6. 不易燃, 操作简单安全。
7. 对原料硅要求粒度较细, 需要破碎设备。	7. 对原料硅粒度要求较粗, 粗略破碎即可。

3. 四氯化硅的性质

四氯化硅的性质

表 3

名 称	数 值	名 称	数 值
分子量	169.2	蒸发热, 千卡/克分子	6.96
液体密度, 克/厘米 ³	1.41	生成热, 千卡/克分子	-153.0
蒸汽密度, 克/厘米 ³	0.0063	标准生成自由能, 千卡/克分子	-136.9
熔 点 °C	-70°C	临界温度 °C	230
沸 点 °C	57.6°C		

液体四氯化硅的密度 ρ

表 4

温 度 $t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{实验}}$ 克/厘米 ³	* $\rho_{\text{计算}}$ 克/厘米 ³	$\Delta\rho = \rho_{\text{实验}} - \rho_{\text{计算}}$
-5.4	1.5313	1.5312	0.0001
-2.1	1.5248	1.5247	0.0001
21.7	1.4764	1.4766	-0.0002
33.7	1.4522	1.4516	0.0006
39.1	1.4401	1.4402	-0.0001
40.5	1.4365	1.4372	-0.0007
41.6	1.4341	1.4349	-0.0008
49.3	1.4185	1.4183	0.0002
66.3	1.3815	1.3812	0.0003
80.9	1.3485	1.3484	0.0001
66.7	1.3809	1.3803	0.0006
82.6	1.3442	1.3445	-0.0003

$$*\rho_{\text{计算}} = 1.5205 - 1.986 \times 10^{-3}t - 1.74 \times 10^{-6}t^2$$

液体四氯化硅的粘度 η

表 5

温 度 $t, ^\circ\text{C}$	$\eta_{\text{实验}}$, 厘 泊	* $\eta_{\text{计算}}$, 厘 泊	$\Delta\eta = \eta_{\text{计算}} - \eta_{\text{实验}}$
-6.0	0.6246	0.6209	0.0037
0.5	0.5706	0.5794	-0.0088
5.0	0.5548	0.5529	0.0019
10.0	0.5293	0.5254	0.0039
15.5	0.4925	0.4973	-0.0048
20.0	0.4823	0.4761	0.0062
31.0	0.4279	0.4297	-0.0018
44.3	0.3825	0.3828	-0.0003
60.2	0.3369	0.3369	—
70.7	0.3103	0.3109	-0.0006
80.9	0.2881	0.2877	0.0004

$$*\eta_{\text{计算}} = 0.5825 - 6.13 \times 10^{-3}t + 4.38 \times 10^{-5}t^2 - 1.62 \times 10^{-7}t^3$$

四氯化硅的表面张力 δ

表 6

温 度 $t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{实验}}$, 达因/厘米	* $\delta_{\text{计算}}$, 达因/厘米	$\Delta\delta = \delta_{\text{实验}} - \delta_{\text{计算}}$
23.0	19.28	19.28	0.00
25.0	19.13	19.06	0.07
30.0	18.50	18.49	0.01
35.0	17.85	17.93	-0.08
40.0	17.31	17.36	-0.05
45.0	16.78	16.80	-0.02
50.0	16.24	16.24	0.00
55.0	15.73	15.67	0.06

$$*\delta_{\text{计算}} = 21.87 - 0.1127t$$

发烟硫酸萃取 SiCl_4 的效果

表 7

杂 质	杂 质 含 量 (ppm)			
	原 料 SiCl_4	一 次 萃 取	二 次 萃 取	三 次 萃 取
Al	50	—	—	—
B	500	—	—	—
Cu	1	—	1	—
Mg	1	1	1	—
Ti	3300	—	—	—
V	80	30	—	—

各种吸附剂提纯含 BCl_3 和 PCl_3 均为 1% 的 SiCl_4 的效果

表 8

序号	吸 附 剂	活 化		$\text{PCl}_3, \%$	$\text{BCl}_3, \%$
		温 度, $^\circ\text{C}$	时 间, 小时		
1	硅胶 6—14 目	270	18	0.01	<0.01
2	硅胶 6—14 目	1000	18	1	1
3	SiCl_4 水解硅胶	270	18	<0.01	<0.01
4	粉状 $\text{Mg}(\text{OH})_2$	120	4	0.01	0.01
5	脱水的 MgO	120	18	1	1
6	CaO	270	18	1	1
7	CaCO_3	270	30	1	1
8	$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体	270	4	<0.01	<0.01
9	TiO_2 胶体	270	18	<0.01	<0.01
10	硅藻土	120	18	<0.01	<0.01
11	处理过的硅藻土	120	18	0.1	0.1
12	铝硅酸盐胶	120	18	0.1	0.1
13	水合硅酸盐绿砂	25	真空干燥	0.01	0.01
14	钨砂	—	—	0.1	0.1

4. 三氯氢硅的物理化学性质

三氯氢硅的物理化学性质

表 9

名 称	数 值	名 称	数 值
分子量	135.45	氢含量, %	0.74
液体密度(31.5°C), 克/厘米 ³	1.318	闪 点, °C	28
蒸汽密度(31.5°C), 克/厘米 ³	0.0055	在空气中的自燃点, °C	175
熔 点, °C	-128	偶极矩, 德拜	0.85
沸 点, °C	31.5	蒸发潜热, 千卡/克分子	6.63
氯含量, %	78.53	比热, 千卡/公斤, °C	0.23 (液体), 0.132 (气体)

液状三氯氢硅的密度 ρ

表 10

温 度 t , °C	$\rho_{\text{实验}}$, 克/厘米 ³	* $\rho_{\text{计算}}$, 克/厘米 ³	$\Delta\rho = \rho_{\text{实验}} - \rho_{\text{计算}}$
-9.4	1.4129	1.4134	0.0005
-3.2	1.4000	1.3986	0.0014
4.7	1.3835	1.3800	0.0035
11.9	1.3595	1.3633	-0.0038
17.9	1.3491	1.3495	-0.0004
19.5	1.3453	1.3459	-0.0006
25.7	1.3305	1.3318	-0.0013
42.2	1.2953	1.2951	0.0002
43.7	1.2932	1.2918	0.0014
45.3	1.2895	1.2883	0.0012
46.8	1.2859	1.2850	0.0009
55.8	1.2649	1.2656	-0.0007
57.6	1.2608	1.2617	-0.0009

$$*\rho_{\text{计算}} = 1.3911 - 2.357 \times 10^{-3}t + 1.93 \times 10^{-6}t^2$$

液态三氯氢硅的粘度 η

表 11

温 度 $t, ^\circ\text{C}$	$\eta_{\text{实验}}$, 厘泊	* $\eta_{\text{计算}}$, 厘泊	$\Delta\eta = \eta_{\text{实验}} - \eta_{\text{计算}}$
-7.5	0.4556	0.4529	0.0027
1.5	0.4002	0.4056	-0.0054
18.5	0.3446	0.3413	0.0033
31.6	0.3098	0.3076	0.0022
41.8	0.2838	0.2868	-0.0030
51.3	0.2685	0.2691	-0.0006
60.5	0.2523	0.2514	0.0009

$$*\eta_{\text{计算}} = 0.4128 - 4.86 \times 10^{-3}t + 4.38 \times 10^{-5}t^2 - 1.62 \times 10^{-7}t^3$$

三氯氢硅的表面张力 δ

表 12

温 度 $t, ^\circ\text{C}$	$\delta_{\text{实验}}$, 达因/厘米	* $\delta_{\text{计算}}$, 达因/厘米	$\Delta\delta = \delta_{\text{实验}} - \delta_{\text{计算}}$
16.5	18.36	18.40	-0.04
17.0	18.33	18.33	0.00
19.0	18.12	18.09	0.03
20.5	17.89	17.91	-0.02
22.0	17.73	17.72	0.01
23.5	17.53	17.54	-0.01
25.0	17.35	17.36	-0.01
25.7	17.29	17.27	0.02
27.0	17.10	17.12	-0.02
28.5	16.95	16.93	0.02
30.0	16.74	16.75	-0.01
32.0	16.50	16.50	0.00
34.0	16.28	16.26	0.02
36.0	16.04	16.02	0.02
38.0	15.77	15.77	0.00
40.0	15.52	15.53	-0.01

$$*\delta_{\text{计算}} = 20.41 - 0.1219t$$

粗 SiHCl₃ (或 SiCl₄) 中各种可能存在组分及其性质 表 13

分子式	分子量	密度, 克/厘米 ³	熔点, °C	沸点, °C
SiH ₄	32.12	0.68(-185°C)	-185.0	-111.8
SiH ₃ Cl	70.58	1.145	-118	-10
SiH ₂ Cl ₂	105.04	—	-122	12
BCl ₃	117.2	1.43	-107	12.5
SiHCl ₃	135.5	1.318(31.5°C)	-126.5	31.5
SiCl ₄	169.9	1.48	-67.7	57.6
PCl ₃	137.4	1.57	-91	75.5
CCl ₄	153.8	1.59	-23	77
SbCl ₅	299.1	2.33	2.8	92
PoCl ₃	153.4	—	—	105.3
SnCl ₄	260.5	—	—	113
CrO ₂ Cl ₂	154.9	—	—	116.7
VOCl ₃	173.3	—	—	127
AsCl ₃	181.3	2.16	-18	130.2
TiCl ₄	189.7	—	—	136
PCl ₅	208.3	—	—	160
AlCl ₃	133.7	2.44	192.5	182
SbCl ₃	228.1	3.14	73.4	223
FeCl ₃	162.2	2.80	282	315
InCl ₃	185.7	3.66	235	560
ZnCl ₂	136.34	—	—	732.4
PbCl ₂	278.1	5.85	501	954
NiCl ₂	129.6	3.55	1001	973(升华)
CuCl	99.0	3.53	422	1366
MgCl ₂	95.2	—	—	1418
AgCl	143.3	5.56	455	1550

5. 硅烷的性质

表 14

分子式	SiH ₄	生成热(标况)	8.70大卡/克分子
分子量	32.09	气化热(°C)	4.25大卡/克分子
液体比重(-185°C)	0.68公升/升	氧中燃烧热	~324大卡/克
气体密度(标况)	1.44毫克/毫升	临界温度	-3.5°C
沸点	-112.0°C	临界压力	47.8 大气压
熔点	-185°C	显著分解温度	>600°C

6. 半导体材料的一些重要物理性质

元素半导体的一些重要物理性质

表 15

族	材 料	禁带宽度 (电子伏特)	电子迁移率 ($\text{cm}^2/\text{伏}\cdot\text{秒}$)	电子有效质量 m_n/m_0	空穴有效质量 m_p/m_0	空穴迁移率 $\text{cm}^2/\text{伏}\cdot\text{秒}$	熔 点 ($^{\circ}\text{C}$)	备 注
I	B	$\alpha: 2.0$ $\beta: 1.53$	6000	0.1		4000	2075	高温稳定
IV	金刚石	6.7	~ 1800			1200	74000	禁带宽
	石墨	< 0.1						
	灰 Sn	0.08	~ 2000			~ 1000	$T_s = 13$	室温不稳定
V	Ge Si	} (见表 2)						
	P		2.1 1.45 0.33	200		350	44 417	易挥发 不稳定
	As (升华层)		1.2	~ 50				$T_s = 300$
VI	Sb (升华层)	0.12					$T_s = 0^{\circ}\text{C}$	不稳定
	S	2.65	100				119.0	易挥发
	Se	1.8	2	2.5	2.5	17	217	
VII	Te	0.32	2200	0.24	0.85	1000	449.7	窄禁带宽
	I	1.3	~ 25				113.5	容易挥发

锗、硅的一些重要物理性质

表 16

物 理 性 质	Ge	Si	单 位
禁带宽 (E_g)	0.67	1.109	电子伏特
导带类型	间接跃迁	间接跃迁	
能隙温度系数(dE_g/dT)	-3.7×10^{-4}	-2.3×10^{-4}	电子伏特/ $^{\circ}C$
能隙压力系数(dE_g/dp)	$+ (7.3 \pm 1.5) \times 10^{-6}$	-2×10^{-6}	电子伏特/原子
本征载流子浓度(300°K)	2.4×10^{13}	1.5×10^{10}	数目/立方厘米
本征电阻率(300°K)	46	2.3×10^5	欧姆-厘米
电子迁移率(300°K) μ_n	3900	1500	厘米 ² /伏·秒
空穴迁移率(300°K) μ_p	1900	500	厘米 ² /伏·秒
电子扩散常数(300°K) D_n	100	38	厘米 ² /秒
空穴扩散常数(300°K) D_p	49	13	厘米 ² /秒
主发射峰	17,700	12,740	埃
原子量	72.60	28.09	
原子密度	4.42×10^{22}	4.99×10^{22}	原子/立方厘米
介电常数	16.0	11.8	真空下 = 1
晶体结构	金刚石(近邻距 = 2.45埃)	金刚石(近邻距 = 2.35)	
晶格常数	5.65754 ± 0.00001	5.43072 ± 0.00001	埃
密度(25°C)	5.3234 ± 0.0025	2.3289 ± 0.0001	克/立方厘米
熔点	937	1415	$^{\circ}C$
线性热膨胀系数	$+5.75 \times 10^{-6}$	$+2.33 \times 10^{-6}$	$^{\circ}C^{-1}$
体压缩率	1.3×10^{-12}	0.98×10^{-12}	厘米 ³ /达因
折射率	4.01	3.420	
比热	0.0754	0.166	卡/克- $^{\circ}C$
热导率	0.401	0.386	卡/厘米 ³ -一秒, $^{\circ}C$
	0.60	1.57	瓦/厘米-一秒, $^{\circ}C$
熔点下蒸汽压	10^{-9}	10^{-7}	个大气压
线膨胀系数		4.2×10^{-6}	厘米/ $^{\circ}C$
表面张力		720	达因/厘米
显微硬度		1100~1400	千克/毫米 ²
器件最高工作温度		250	$^{\circ}C$

III—V 族化合物半导体的一些重要物理性质

物 理 性 质	BN	BA ₅	AlN	AIP	AlAs	AlSb	GaP	CaN	GaSb	InP	InAs	InSb	备 注
禁带宽(电子伏特)	~4.6	~5	3.8	3.0	2.16	1.49	2.24	3.3	0.68	1.27	0.33	0.16	
能带类型	间接	—	—	间接	间接	间接	间接	—	直接	直接	直接	直接	
电子迁移率 (厘米 ² /伏秒)	—	—	—	3500	1200	200	300	—	5000	5300	33,000	80,000	
空穴迁移率 (厘米 ² /伏秒)	—	—	—	—	200	200	100	—	850	650	280	7,000	
有效质量	—	—	—	—	—	0.3	—	—	0.2	0.073	0.03	0.013	
	—	—	—	—	—	0.4	—	—	0.4	0.2	0.3	0.18	
介电常数* K = n' ²	—	—	—	11.6	—	10.1	8.5	—	14.0	10.7	11.7	15.7	
折射率 n	—	—	—	3.4	—	3.18	2.91	—	3.74	3.26	3.42	3.96	
功函数 (电子伏特)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.57	
晶格常数 (埃)	—	—	—	5.46	5.66	6.135	5.450	—	6.095	5.069	6.058	6.479	
密度 (克/立方厘米)*	—	—	—	2.38	3.79	4.26	4.13	—	5.60	4.78	5.66	5.77	
主发射峰 (埃)	—	—	—	—	—	—	5900	—	19,700	9,100	30,000	—	
熔点(°C)	3000 ⁺	—	2150 ⁺	>1500	>1500	1060	1465	—	706	1070	940	525	

附注: G_nA_n的重要物理参数见表 5

* 计算值

+ 在压力下

表 18

I—VII族化合物半导体的一些重要物理性质

物 理 性 质	ZnS	ZnSe	ZTe	CdS	CdSe	CdTe	H ₂ S	H ₂ Se	H ₂ Te	备 注
禁带宽 (电子伏特)	3.6	2.6	2.2	2.4	1.7	1.5	2.0	0.6	0.02	
能带类型	直接	—	—	直接	—	—	—	—	—	
电子迁移率(厘米 ² /伏秒)	100	260	—	295	550	600	—	18,500	16,000	
空穴迁移率(厘米 ² /伏秒)	—	—	425	10	—	50	—	—	160	
有效质量	—	~0.4	—	0.2	—	0.14	—	—	—	
介电常数*K = n'	5.13	8.4	~9	5.38	—	~11	—	5.8	—	
折射率, n	2.27	2.89	~3	2.32	—	~3.3	—	2.4	—	
晶格常数, (埃)	5.406	5.667	6.085	5.83	6.05	6.48	5.852	6.084	6.429	
密度, (克/立方厘米)	4.09	5.26	5.70	4.84	5.74	5.86	7.72	8.26	8.20	
熔点(°C)	1,830	1,515	1,290	1,750	1,252	1,098	1,450	800	670	

砷化镓的一些重要物理性质

表 19

物理性质	GaAs	单 位	备 注
禁带宽(E_g)	1.40	电子伏特	
导带类型	直接		
本征载流子浓度(300°K)	1.4×10^6	数目/立方厘米	
本征电阻率 (300°K)	3.7×10^8	欧姆—厘米	
电子迁移率 (300°K) (78°K)	8,500 (单晶) 20,000 (汽相外延)	厘米 ² /伏·秒	计算值: 电子迁移率(300°K) = 1,100厘米 ² /伏·秒
空穴迁移率 (300°K)	430	厘米 ² /伏·秒	计算值: 空穴迁移率(300°K) = 450厘米 ² /伏·秒
有效质量	m_n/m_0	0.072	
	m_p/m_0	0.66	
电子扩散常数(300°K)	310	厘米 ² /秒	
空穴扩散常数(300°K)	11.5	厘米 ² /秒	
介电常数	11.1		(空气中介电常数) = 1
主发射峰	8440	埃	
原子量	144.6	数	
最近邻距	2.45	埃	
晶格常数	5.654	埃	
原子密度	4.43×10^{22}	原子/立方厘米	
熔 点	1240	°C	
熔点下蒸汽压	1	个大气压	
热膨胀系数	5.93×10^{-6}	(°C ⁻¹)	
热 导 率	0.52	瓦单位	
比 热	0.086	卡/克—°C	
折 射 率	3.34		
功 函 数	4.66	电子伏特	
密 度	5.32	克/立方厘米	

表 20

7. 某些 III-V 族化合物的重要生长条件和外延膜特性

化合物	制取方法	基片	取向	T_R ($^{\circ}C$)	d (微米)	n_e /厘米 ³	μ_e /厘米 ² ·伏·秒	参 考	备 注
GaAs	闭管氯化物输运	GaAs	(100), (110) (111), (111)	550~750(源温 以下20~150 $^{\circ}C$)	1~2000	—	—	莫斯·休波	g, r 与取向无关
GaAs	开管碘化物输运	GaAs	(111), (111)	550~700	~10~20	—	—	马哥麦德夫、 谢夫特	g, r 在600 $^{\circ}C$ 时最大, 与取向有关
GaAs	水蒸汽输运	GaAs	(110), (111), (111)	750~780	30~200	—	—	柯夫特, 塞 米来德夫	—
GaAs	开管AsCl ₃ -Ga-H ₂ 系统	GaAs	(110)	750	50~100	~10 ¹⁵	>7000	克奈等	—
GaAs	开管AsCl ₃ -Ga-H ₂ 系统	GaAs	(100)	大抵与克奈等 相同	~15	~10 ¹⁴	8500	伍依塔克。 巴尔格	总杂质浓度小于 10 ¹⁵ cm ⁻³
GaAs	开管AsCl ₃ -Ga-H ₂ 系统	GaAs	—	750	~20	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	9000	爱格特	—
GaAs	开管AsCl ₃ -Ga-H ₂ 系统	GaAs	(111), (111), (110)	760	—	~10 ¹⁵	>5000	拉仓强夫等	μ_e 和 n_e 与取向有关
GaAs	开管AsCl ₃ -Ga-H ₂ 系统	GaAs	(100)	750	8~12	10 ¹⁴ ~10 ¹⁶	8500	渥尔夫夫等	—
GaAs	开管AsCl ₃ -Ga-H ₂ 系统	GaAs	(100), (110), (111) (111)和其他几个面	640~780	~120	~10 ¹⁴	6700	泰勒	g, r 在750 $^{\circ}C$ 时为 最大值, 与取向有关
GaAs	开管HCl-H ₂ 输运	GaAs	(100), (110) (111), (111)	700~800(源温 以下50~100 $^{\circ}C$)	30~60	~10 ¹⁵	8780	爱夫欧	900 $^{\circ}C$ 源温下, 350 $^{\circ}Cg, r$ 最大值和取向有关
GaAs	开管HCl-H ₂ 输运	GaAs	(100)	680	4~7	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	9700	孔谢特等	得到 μ_e 的较高 r, t 值
GaAs	三甲基砷-AsH ₃ -H ₂ 系统	蓝宝石	(0001)	—	23	—	3400	马纳塞维	膜具有(111)取向
GaAs	液相外延	GaAs	(100)	~800	—	~10 ¹⁴	8500	安特莱、莱 杜斯	—
GaAs	阳极溅射	Ge	(100), (110), (111)	550~580	0.5~30	—	—	莫尔纳	—
Gap	开管PCl ₃ -Ga-H ₂ 系统	GaAs	(111)	850	—	~10 ¹⁵	200	莫克林等	μ_e 随老化而下降
InSb	真空瞬时蒸发	玻璃	—	350~400(沉积)	1~6	~10 ¹⁵	61300	梯特	电子柔熔化再结晶, 显示(111)取向
InSb	真空瞬时蒸发	InSb	(100), (110), (111) 铎	460	1~30	~10 ¹⁵	—	霍劳威特	—
InSb	阴极溅射	NaCl	(001)	250	从薄到厚	—	—	康	—
InAs	开管HCl-H ₂ 输运	GaAs	(100)	(740)	14~28	10 ¹⁵ ~10 ¹⁶	23000	克隆宁等	—

注: T_R : 外延温度, d, 生长膜厚度, n_e : 过量电子浓度, μ_e : 电子迁移率, $n_e \mu_e$ 是室温时的数值, g, r, t 是生长速度, r, t 室温。