

II.6.1 电子混合气

一、电子气体

(一) 前言

电子工业用气体统称为电子气。在大规模集成电路 (LSI)、超大规模集成电路 (VLSI)、半导体和电子器件生产与加工过程中,电子气主要用于气相外延生长、化学气相淀积、掺杂(杂质扩散)、蚀刻、离子注入、溅射、退火、系统加压、洁净吹扫、吸气覆盖、氧化和还原等工艺。其中部分气体直接作为半导体源,如硅源、硼源、磷源和 CVD 源等等。

众所周知,电子气体是半导体工业、微电子工业重要的且必不可少的基础材料,随着半导体工业和微电子工业的迅猛发展,对电子气体的品种、数量、质量及纯度提出了较高的要求^[1]。目前,我国电子气体的品种、数量和质量与发达国家相比,尚有较大差距,因此尽快发展和振兴我国的电子气体,它具有十分重要而深远的战略意义。

(二) 电子气体的分类^[2, 3, 4]

为电子工业服务的电子气体品种繁多,用途五花八门,它的分类方法亦较为复杂。一般可按电子气的组成来分类,也可以按电子气的用途分类。

1、电子气分类方法之一

按电子气的组成分类,电子气体大致可分为三大类,即单质类气体、化合物类气体和混合物类气体。表 II .6.1-1 列出上述三类电子气体的典型例子。其中化合物类应用较多,又可细分为三种,即氢化物(如 SiH_4 、 PH_3 、 B_2H_6 等)、氟化物(如 NF_3 、 BF_3 、 SiF_4)和碳氟化合物(如 CF_4 、 C_2F_6 、 C_5F_{12} 等)。

表 II. 6.1-1 电子气的分类

分 类	气 体 名 称
单质气体	Ar、 H_2 、 O_2 、He、 N_2 、 Cl_2
化合物气体	SiH_4 、 PH_3 、 AsH_3 、 B_2H_6 、 SiF_4 、 SF_6 、HCl、 H_2S 、 NH_3 、 GeH_4 、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_2F_8 、 C_5F_{12}
混合物气体	SiH_4 +稀释气 (Ar、He、 H_2 、 N_2) PH_3 +稀释气 (Ar、He、 H_2 、 N_2) AsH_3 +稀释气 (Ar、He、 H_2 、 N_2) B_2H_6 +稀释气 (Ar、He、 H_2 、 N_2) HCl+稀释气 (Ar、He、 O_2 、 N_2) H_2S +稀释气 (Ar、He、 H_2 、 N_2) NH_3 +稀释气 (Ar、He、 H_2 、 N_2) Cl_2 +稀释气 (Ar、He、 N_2) $\text{CO} + \text{SF}_6$ H_2Se +稀释气 (Ar、He、 H_2 、 N_2)

2、电子气体分类方法之二

根据电子气体的不同用途,电子气体可分为十多类,例如晶体生长气、热氧化气、外延气、掺杂气、扩散气、化学气相淀积气、喷射气、离子注入气、等离子蚀刻气、载气/吹洗气、光刻气、退火气、焊接气、烧结气和平衡气等。表 II 6.1-2 列出了电子工业、半导体器件制备工艺中所用电子气体的范例。

二、常用电子混合气

(一) 几种常见电子混合气体^{[5][6]}

电子混合气体广泛用于大规模集成电路 (L.S.I) 超大规模集成电路 (V.L.S.I) 和半导体器件生产中,主要用于气相外延(生成)、化学气相淀积、掺杂(杂质扩散)、各类蚀刻和离子注入等工艺中。下面介绍几种常见的电子混合气体。

1、外延生长混合气体

外延生长是一种单晶材料淀积并生产在衬底表面上的过程，在半导体工业中，在仔细选择的衬底上选用化学气相淀积的方法，生长一层或多层材料所用的气体叫作外延气体。常用的硅外延气体有二氯二氢硅、四氯化硅和硅烷等。主要用于外延硅淀积，多晶硅淀积，氧化硅膜淀积，氮化硅膜淀积，太阳能电池和其他光传感器的非晶硅膜淀积等。常见外延混合气体组成列于表 II .6.1-3 中。

2、蚀刻混合气体

蚀刻就是将基片上无光刻胶掩蔽的加工表面（如金属膜、氧化硅膜等）蚀刻掉，而使有光刻胶掩蔽的区域保存下来，以便在基片表面上获得所需要的成像图形。蚀刻方式有湿法化学蚀刻和干法化学蚀刻。干法化学蚀刻所用气体称为蚀刻气体。蚀刻气体通常多为氟化物气体（卤化物类），例如四氯化碳、三氟化氮、三氟甲烷、六氟乙烷、全氟丙烷等。常见蚀刻气体列于表 II .6.1-4

表 II .6.1-2 电子工业、半导体制造用电子气体的分类

用途分类	气体品种名称
掺杂气	AsH ₃ 、PH ₃ 、GeH ₄ 、B ₂ H ₆ 、AsCl ₃ 、AsF ₃ 、H ₂ S、BF ₃ 、BCl ₃ 、SeH ₂ 、SbH ₃ 、(CH ₃) ₂ Te、(CH ₃) ₂ Cd、(C ₂ H ₅) ₂ Cd、PCl ₃ 、(C ₂ H ₅) ₂ Te
晶体生长气	SiH ₄ 、SiH ₂ Cl ₂ 、SiHCl ₃ 、SiCl ₄ 、B ₂ H ₆ 、BBr ₃ 、BCl ₃ 、AsH ₃ 、PH ₃ 、GeH ₄ 、TeH ₂ 、(CH ₃) ₃ Al、(C ₂ H ₅) ₃ Al、(CH ₃) ₃ As、(C ₂ H ₅) ₃ As、(CH ₃) ₂ Hg、(CH ₃) ₃ P、(C ₂ H ₅) ₃ P、SnCl ₄ 、GeCl ₄ 、SbCl ₅ 、AlCl ₃ 、Ar、He、H ₂
气相蚀刻气	Cl ₂ 、HCl、HF、HBr、SF ₆
等离子蚀刻气	SIF ₄ 、CF ₄ 、C ₃ F ₈ 、CHF ₃ 、C ₂ F ₆ 、CClF ₃ 、O ₂ 、C ₂ ClF ₅ 、NF ₃ 、SF ₆ 、BCl ₃ 、HFCl ₂ 、N ₂ 、He、Ar
离子束蚀刻气	C ₃ F ₈ 、CHF ₃ 、CClF ₃ 、CF ₄
离子注入气	AsF ₃ 、PF ₃ 、PH ₃ 、BF ₃ 、BCl ₃ 、SiF ₄ 、SF ₆ 、H ₂ 、N ₂
化学气相淀集气	SiH ₄ 、SiH ₂ Cl ₂ 、SiCl ₄ 、NH ₃ 、NO、O ₂
平衡气（稀释气）	N ₂ 、Ar、He、H ₂ 、CO ₂ 、N ₂ O、O ₂
外延气	SiH ₄ 、SiH ₂ Cl ₂ 、SiCl ₄ 、Si ₂ H ₆ 、HCl、PH ₃ 、AsH ₃ 、B ₂ H ₆ 、He、H ₂ 、N ₂ 、Ar

表 II .6.1-3 外延（生长）混合气

序号	组分气体	平衡气
1	硅烷（SiH ₄ ）	氩、氦、氢、氮
2	氯化硅（SiCl ₄ ）	氩、氦、氢、氮
3	二氯二氢硅（SiH ₂ Cl ₂ ）	氩、氦、氢、氮
4	乙硅烷（Si ₂ H ₆ ）	氩、氦、氢、氮

表 II .6.1-4 常用蚀刻混合气

材质	组分气体	平衡气
铝（Al）	氯硅烷（SiCl ₄ ）、四氯化碳（CCl ₄ ）	氩、氦
铬（Cr）	四氯化碳（CCl ₄ ）	氧、空气
钼（Mo）	二氟二氯化碳（CCl ₂ F ₂ ）、四氯化碳（CF ₄ ）	氧
铂（Pt）	三氟三氯乙烷（C ₂ Cl ₃ F ₃ ）、四氯化碳（CF ₄ ）	氧
聚硅	四氯化碳（CF ₄ ）、乙烷（C ₂ H ₆ ）	氧、氯
硅（Si）	四氯化碳（CF ₄ ）	氧

钨 (W)	四氟化碳(CF ₄)	氧
-------	------------------------	---

3、掺杂混合气体

在半导体器件和集成电路制造中，将某些杂质掺入半导体材料内，使材料具有所需要的导电类型和一定的电阻率，以制造电阻、PN结、埋层等。掺杂工艺所用的气体称为掺杂气。主要包括砷烷、磷烷、三氯化磷、五氯化磷、三氯化砷、五氯化砷、三氯化硼和乙硼烷等。通常将掺杂源与运载气体（如氩气和氮气）在源柜中混合，混合后气流连续注入扩散炉内并环绕晶片四周，在晶片表面沉积上掺杂剂，进而与硅反应生成掺杂金属而徙动进入硅。常用掺杂混合气列于表 II .6.1-5。

表 II .6.1-5 掺杂混合气

类型	组分气	稀释气	备注
硼化合物	乙硼烷 (B ₂ H ₆)、三氯化硼 (BCl ₃)、溴化硼 (BBr ₃)	氩、氦、氢	具有 P 形性质
磷化合物	磷烷 (PH ₃)、氯化磷 (PCl ₃)、溴化磷 (PBr ₃)	氩、氦、氢	具有 N 形性质
砷化合物	砷烷 (AsH ₃)、三氯化砷 (AsCl ₃)	氩、氦、氢	
硒化合物	硒化氢 (H ₂ Se)	氩、氦、氢、氮	

4、化学气相淀积混合气体

化学气相淀积混合气体 (CVD) 是利用挥发性化合物，通过气相化学反应淀积某种单质或化合物的一种方法，即应用气相化学反应的一种成膜方法。依据成膜种类，使用的化学气相淀积 (CVD) 气体也不相同。表 II .6.1-6 列出几类化学淀积混合气的组成。

表 II .6.1-6 化学气相淀积混合气

膜的种类	混合气组成	生成方法
半导体膜	硅烷 (SiH ₄) + 氢 (H ₂)	CVD
	二氯二氢硅 (SiH ₂ Cl ₂) + 氢 (H ₂)	CVD
	氯硅烷 (SiCl ₄) + 氢 (H ₂)	CVD
	硅烷 (SiH ₄) + 甲烷 (CH ₄)	离子注入 CVD
绝缘膜	硅烷 (SiH ₄) + 氧 (O ₂)	CVD
	硅烷 (SiH ₄) + 氧 (O ₂) + 磷烷 (PH ₃)	CVD
	硅烷 (SiH ₄) + 氧 (O ₂) + 磷烷 (PH ₃) + 乙硼烷 (B ₂ H ₆)	CVD
	硅烷 (SiH ₄) + 氧化亚氮 (N ₂ O) + 磷烷 (PH ₃)	离子注入 CVD
导电膜	六氟化钨 (WF ₆) + 氢 (H ₂)	CVD
	六氯化钼 (MoCl ₆) + 氢 (H ₂)	CVD

5、离子注入气体

在半导体器件和集成电路制造中，离子注入工艺所用的气体统称为离子注入气，它是把离子化的杂质（如硼、磷、砷等离子）加速到高能级状态，然后注入到预定的衬底上。离子注入技术在控制阈值电压方面应用得最为广泛。注入的杂质量可以通过测量离子束电流而求得。离子注入气体通常指磷系、砷系和硼系气体。表 II .6.1-7 列出美国 BOC 公司生产的部分离子注入用气体的例子^[7]。

表 II .6.1-7 美国 BOC 公司部分离子注入用气

气体种类	组分气含量	稀释气体	压力 (Kpa)
磷烷 (PH ₃)	5%	氢气 (H ₂)	27.65
	15%	氢气 (H ₂)	27.65
砷烷 (AsH ₃)	5%	氢气 (H ₂)	27.65
	15%	氢气 (H ₂)	27.65

(二) 电子混合气体典型含量和技术指标^{[6]、[8]}

1、电子混合气体的典型组成及含量范围

表 II .6.1-8 列出国内外几种混合气体的典型组成和平衡气的种类。

2、电子混合气体的技术指标

表 II .6.1-9 至表 II .6.1-21 列出国外 Scott 公司部份电子混合气体的主要技术指标^[9]。

表 II .6.1-8 电子混合气体典型组成

序号	组分气体	平衡气体	混合物含量范围
1	硅烷 (SiH ₄)	氩、氮、氢、氮	0.5~50%
2	磷烷 (PH ₃)	氩、氮、氢、氮	(5~5000) × 10 ⁻⁶
			0.5~15%
3	砷烷 (AsH ₃)	氩、氮、氢、氮	(5~5000) × 10 ⁻⁶
			0.5~10%
4	乙硼烷 (B ₂ H ₆)	氩、氮、氢、氮	(5~5000) × 10 ⁻⁶
			1~10%
5	锗烷 (GeH ₄)	氩、氮、氢、氮	0.5~50%
6	氯化氢 (HCl)	氧、氮、氩、氮	(10~1000) × 10 ⁻⁶
			0.1~10%
7	硒化氢 (H ₂ Se)	氩、氮、氢、氮	(5~5000) × 10 ⁻⁶
8	二乙基碲 ((C ₂ H ₅) ₂ Te)	氩、氮、氢、氮	(5~150) × 10 ⁻⁶
9	一氧化碳 (CO)	氩、氮、空气、六氟化硫	(1~1000) × 10 ⁻⁶
			0.1~3%、22%
10	氯 (Cl ₂)	氩、氮、氮	(50~1000) × 10 ⁻⁶
			0.1~3.5%、28%
11	氨 (NH ₃)	氩、氮、氢、氮	5~50%
12	四氟化碳 (CF ₄)	氧、氮、氩、氮	5~100%
13	四氟化硅 (SiF ₄)	氧、氮、氩、氮	10%
14	六氟化硫 (SF ₆)	氩、氮、氢、氮	5~100%

表 II .6.1-9 硅烷混合气体技术指标

硅烷级别	平衡气级别	20%硅烷混合气体中最高杂质含量 (× 10 ⁻⁶)					
		N ₂	O ₂	THC/CH ₄	H ₂ O	CO+CO ₂	氯硅烷
V.L.S.I	V.L.S.I-Ar	3.6	1.0	0.3	1.0	0.8	N.D
L.S.I	L.S.I-Ar	5.2	1.0	0.4	1.0	0.8	0.2
电子级	电子级-Ar	14.4	3.6	8.4	1.4	2.4	2.0
V.L.S.I	V.L.S.I-He	0.8	0.6	0.2	0.4	0.5	N.D
L.S.I	L.S.I-He	2.4	0.6	0.3	0.4	0.5	0.2

电子级	电子级-He	12.0	2.8	8.4	1.4	2.8	2.0
V.L.S.I	V.L.S.I-N ₂	Bal.	0.6	0.3	0.6	1.0	N.D
L.S.I	L.S.I-N ₂	Bal.	0.6	0.4	0.6	1.0	0.2
电子级	电子级-N ₂	Bal.	2.8	8.2	1.4	3.0	2.0
V.L.S.I	V.L.S.I-H ₂	0.7	0.4	0.2	0.6	0.5	N.D
L.S.I	L.S.I-H ₂	2.3	0.4	0.3	0.6	0.5	0.2
电子级	电子级-H ₂	9.6	2.8	8.8	3.0	3.6	2.0

表 II .6.1-10 磷烷混合气体技术指标

磷烷 级别	平衡气 级别	15%磷烷混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)						
		N ₂	O ₂	THC/CH ₄	H ₂ O	CO+CO ₂	H ₂	AsH ₃
V.L.S.I	V.L.S.I-Ar	3.6	1.0	0.4	1.0	0.7	3.9	0.2
电子级	电子级-Ar	8.3	2.0	0.9	2.4	2.0	15.9	2.3
V.L.S.I	V.L.S.I-He	0.6	0.6	0.3	0.4	0.4	3.2	0.2
电子级	电子级-He	5.8	1.3	0.9	0.4	2.0	15.0	2.3
V.L.S.I	V.L.S.I-H ₂	0.5	0.4	0.3	0.6	0.4	Bal.	0.2
电子级	电子级-H ₂	3.2	1.3	1.3	4.1	3.2	Bal.	2.3
V.L.S.I	V.L.S.I-N ₂	Bal.	0.6	0.4	0.6	0.9	0.9	0.2
电子级	电子级-N ₂	Bal.	1.3	0.7	2.4	2.6	15.9	2.3

表 II .6.1-11 硼烷混合气体技术指标

硼烷 级别	平衡气 级别	10%硼烷混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)					
		N ₂	CO ₂	H ₂	H ₂ O	CH ₄	其它
99.9%	V.L.S.I-Ar	8.6	50.2	5.9	1.0	0.5	33.0
99%	电子级-Ar	57.2	50.5	201.0	1.0	15.5	33.0
99.9%	V.L.S.I-He	5.5	50.1	5.2	.03	0.4	33.0
99%	电子级-He	54.5	51.0	200.0	1.0	15.5	33.0
99.9%	V.L.S.I-H ₂	5.3	50.1	Bal.	0.6	0.4	33.0
99%	电子级-H ₂	51.8	51.8	Bal.	3.0	16.0	33.0
99.9%	V.L.S.I-N ₂	Bal.	50.2	5.0	0.6	0.5	33.0
99%	电子级-N ₂	Bal.	50.2	201.0	1.0	15.2	33.0

表 II .6.1-12 锗烷混合气体技术指标

锗烷 级别	平衡气 级别	10%锗烷混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)				
		N ₂	O ₂	THC/CH ₄	H ₂ O	CO+CO ₂
电子气	V.L.S.I-Ar	3.8	1.0	0.3	0.7	1.0
	电子级-Ar	7.4	1.9	0.6	0.8	1.0
电子气	V.L.S.I-He	0.7	0.5	0.2	0.4	0.3
	电子级-He	4.7	1.0	0.6	1.2	1.0
电子气	V.L.S.I-H ₂	0.5	0.3	0.2	0.6	0.4
	电子级-H ₂	2.0	1.0	1.0	2.0	3.0
电子气	V.L.S.I-N ₂	Bal.	0.5	0.3	1.0	0.6

	电子级- N ₂	Bal.	1.0	0.3	1.4	1.0
--	---------------------	------	-----	-----	-----	-----

表 II .6.1-13 一氧化碳混合气体技术指标

一氧化碳 级别	平衡气 级别	30%一氧化碳混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)							
		N ₂	O ₂	CO ₂	THC/CH ₄	H ₂	Ar	H ₂ O	CF ₄
99.99%	V.L.S.I-SF ₆	34.5	5.1	1.5	1.3	1.5	6	2.4	17.5
99.9%	电子级- SF ₆	220.0	55.0	15.0	33.5	3.0	未定	未定	70.0

表 II .6.1-14 砷烷混合气体技术指标

砷烷 级别	平衡气 级别	10%砷烷混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)					
		N ₂	O ₂	THC/CH ₄	H ₂ O	CO+CO ₂	H ₂
V.L.S.I	V.L.S.I-Ar	3.7	1.0	0.3	1.0	0.5	10.9
电子级	电子级-Ar	8.2	2.3	0.6	1.3	0.7	50.9
V.L.S.I	V.L.S.I-He	0.6	0.6	0.2	0.3	0.2	10.2
电子级	电子级-He	5.5	1.4	0.6	1.3	1.1	50.0
V.L.S.I	V.L.S.I- H ₂	0.4	0.3	0.2	0.6	0.2	Bal.
电子级	电子级- H ₂	2.8	1.4	1.0	2.0	3.1	Bal.
V.L.S.I	V.L.S.I- N ₂	Bal.	0.6	0.3	0.6	0.8	10.9
电子级	电子级- N ₂	Bal.	1.4	0.3	1.3	1.3	50.9

表 II .6.1-15 氨混合气体技术指标

氨 级别	平衡气 级别	15%氨混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)				
		N ₂	O ₂	THC/CH ₄	H ₂ O	CO+CO ₂
渗氮级	V.L.S.I-Ar	3.6	1.0	0.4	1.0	0.5
电子气	电子级-Ar	7.6	2.0	0.6	1.6	0.6
渗氮级	V.L.S.I-He	0.6	0.6	0.3	0.4	0.3
电子气	电子级-He	5.0	1.2	0.6	1.6	1.0
渗氮级	V.L.S.I- H ₂	0.5	0.4	0.3	0.6	0.3
电子气	电子级- H ₂	2.0	1.2	1.0	3.3	1.9
渗氮级	V.L.S.I- N ₂	Bal.	0.6	0.4	0.6	0.8
电子气	电子级- N ₂	Bal.	1.2	0.4	1.6	1.2

表 II .6.1-16 氯混合气体技术指标

氯 级别	平衡气 级别	3%氯混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)				
		N ₂	O ₂	THC/CH ₄	H ₂ O	CO+CO ₂
V.L.S.I	V.L.S.I-Ar	4.2	1.1	0.3	0.7	1.1
电子气	电子级-Ar	10.8	2.3	0.7	6.5	1.3
V.L.S.I	V.L.S.I-He	0.8	0.6	0.2	0.4	0.3
电子气	电子级-He	7.9	1.3	0.7	7.0	1.3
V.L.S.I	V.L.S.I- N ₂	Bal.	0.6	0.3	1.0	0.6
电子气	电子级- N ₂	Bal.	1.3	0.4	7.2	1.3

表 II .6.1-17 四氟化硅混合气体技术指标

		10%四氟化硅混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)							
--	--	---	--	--	--	--	--	--	--

别	级别	N ₂	O ₂	THC/CH ₄	CO+CO ₂	H ₂ O	SO ₂	HF	Ar
99.99%	V.L.S.I-Ar	4.4	1.1	0.2	2.2	1.9	10.0	5.0	Bal.
	电子级-Ar	8.0	2.0	0.5	2.5	1.9	10.0	5.0	Bal.
99.99%	V.L.S.I-He	1.3	0.7	0.1	2.1	1.2	10.0	5.0	0.1
	电子级-He	5.3	1.1	0.5	2.9	1.9	10.0	5.0	未定
99.99%	V.L.S.I- N ₂	Bal.	0.7	0.2	0.9	1.5	10.0	5.0	未定
	电子级- N ₂	Bal.	1.1	0.2	3.1	1.9	10.0	5.0	未定
99.99% (99.97%)	V.L.S.I- O ₂	36.8	Bal.	0.1	2.9	1.9	10.0	5.0	13.5
	电子级- O ₂	90.8	Bal.	0.9	3.8	2.8	10.0	5.0	45.0

II .6.1-18 硫化氢混合气体技术指标

硫化氢 级别	平衡气 级别	0.5%硫化氢混合气体中杂质最高含量 (×10 ⁻⁶)			
		N ₂	O ₂	THC/CH ₄	CO+CO ₂
V.L.S.I	V.L.S.I-Ar	4.0	1.0	0.2	0.5
电子级	电子级-Ar	8.1	2.1	0.6	0.8
V.L.S.I	V.L.S.I-He	0.6	0.5	0.1	0.2
电子级	电子级-He	5.1	1.1	0.6	1.3
V.L.S.I	V.L.S.I- H ₂	0.4	0.2	0.1	0.2
电子级	电子级- H ₂	2.1	1.1	1.1	2.3
V.L.S.I	V.L.S.I- N ₂	Bal.	0.5	0.2	0.8
电子级	电子级- N ₂	Bal.	1.1	0.3	1.5

表 II .6.1-19 氯化氢砷烷混合气体技术指标

氯化氢 级别	平衡气 级别	10%氯化氢混合气体中最高杂质含量 (×10 ⁻⁶)						
		N ₂	O ₂	THC/CH ₄	H ₂ O	CO+CO ₂	H ₂	Ar
V.L.S.I	V.L.S.I-Ar	3.8	1.0	0.3	1.2	1.2	1.1	Bal.
电子级	电子级-Ar	8.8	2.3	1.0	1.5	2.0	2.0	Bal.
V.L.S.I	V.L.S.I-He	0.7	0.6	0.2	0.9	0.5	0.4	未定
电子级	电子级-He	6.1	1.4	1.0	1.9	1.9	1.0	未定
V.L.S.I	V.L.S.I- H ₂	Bal.	1.0	0.3	1.5	0.8	1.1	未定
电子级	电子级- H ₂	Bal.	1.4	0.7	2.1	1.9	1.9	未定
V.L.S.I	V.L.S.I- O ₂	36.2	Bal.	0.2	1.2	1.7	0.2	13.5
电子级	电子级- O ₂	91.6	Bal.	1.4	2.8	2.8	1.0	45.0

3、电子混合气体配制精度

电子混合气体的制备精度，也是一项重要的技术指标。根据电子混合气体的不同种类、不同的组分含量范围及其用途，制备精度要求也不相同。表 II.6.1-20 和表 II.6.1-21 分别列出英国 BOC 公司和美国 Scott 公司电子混合气体的制备精度。

表 II.6.1-20 英国 BOC 公司电子混合气体制备精度^[7]

序 号	组 分 含 量	混合气体允许误差
1	10%	±0.3%
2	5%	±0.15%
3	1%	±0.1%

4	1000×10^{-6}	$\pm 100 \times 10^{-6}$
5	100×10^{-6}	$\pm 10 \times 10^{-6}$
6	10×10^{-6}	$\pm 2 \times 10^{-6}$

表 II.6.1-21 美国 Scott 公司电子混合气体制备精度^[9]

序号	混合气体种类	组分气体含量范围	制备误差
1	硫化氢 (H ₂ S)	0.01%~0.5%	5%~2%
2	氯化氢 (HCl)	0.1%~5%	10%~5%
3	氯气 (Cl ₂)	0.1%~3%	10%~5%
4	一氧化碳 (CO)	20%~30%	2%~1%

续上表

序号	混合气体种类	组分气体含量范围	制备误差
5	氨 (NH ₃)	25×10^{-6} ~15%	10%~2%
6	锗烷 (GeH ₄)	1%~10%	5%~2%
7	磷烷 (PH ₃)	5×10^{-6} ~ 49×10^{-6}	10%~2%
		50×10^{-6} ~1.9%	5%~2%
8	硅烷 (SiH ₄)	2%~5%	3%~1%
		25×10^{-6} ~ 49×10^{-6}	10%~2%
		50×10^{-6} ~1.9%	5%~2%
9	硼烷 (B ₂ H ₆)	2%~5%	3%~1%
		25×10^{-6} ~ 499×10^{-6}	10%~5%
		500×10^{-6} ~1.9%	5%~3%
10	砷烷 (AsH ₃)	2%~5%	3%~2%
		5×10^{-6} ~ 49×10^{-6}	10%~5%
		50×10^{-6} ~1.9%	5%~2%
		2%~5%	2%

三、电子气体产品质量标准

(一) 中国国家标准

中国电子工业用气体氩、氮、氧、氩、氢、硅烷、磷化氢、六氟化硫、氯化氢、氨和高纯氯国家标准质量指标，分别见表 II.6.1-22、表 II.6.1-23、表 II.6.1-24、表 II.6.1-25、表 II.6.1-26、表 II.6.1-27、表 II.6.1-28、表 II.6.1-29、表 II.6.1-30、表 II.6.1-31 和表 II.6.1-32。

表 II.6.1-22 氩 国家标准质量指标^[10]

项 目	指 标
氩纯度, 10^{-2}	99.9992
氢含量, 10^{-6}	1
氮含量, 10^{-6}	5
氧含量, 10^{-6}	0.5
一氧化碳和二氧化碳含量, 10^{-6}	0.5
总烃(以甲烷计)含量, 10^{-6}	0.5
水分含量, 10^{-6}	0.5
颗粒	由供需双方商定

表 II.6.1-23 氮 国家标准质量指标^[11]

项 目	指 标
氮纯度, 10^{-2}	99.9996
一氧化碳, 10^{-6}	1
二氧化碳含量, 10^{-6}	0.5
氢含量, 10^{-6}	0.5
氧含量, 10^{-6}	0.5
总烃(以甲烷计)含量, 10^{-6}	0.5
水分含量, 10^{-6}	0.5
颗粒	由供需双方商定

表 II.6.1-24 氧 国家标准质量指标^[12]

项 目	指 标		
	超大规模 集成电路级	半导体及 集成电路级	电子级 散装液态氧
氧纯度, 10^{-2}	99.9853	99.5	99.5
氢含量, 10^{-6}	1	1	1
氫含量, 10^{-6}	100		-
氮含量, 10^{-6}	30	100	100
一氧化碳含量, 10^{-6}	1		
二氧化碳含量氮含量, 10^{-6}	1		
一氧化碳和二氧化碳含量, 10^{-6}		5	5
总烃(以甲烷计)含量, 10^{-6}	1	5	25
氧化亚氮含量, 10^{-6}	1	2	2
氟含量, 10^{-6}	10		
水含量, 10^{-6}	2	2	2
总杂质含量(包括稀有气体), 10^{-6}	147	5000	5000

注： 本标准不包括对颗粒的技术要求，该技术要求由供需双方商定。
纯度及含量均以体积分数表示。

表 II.6.1-25 氦 国家标准质量指标^[13]

项 目	指 标
氦纯度, 10^{-2}	99.9995
一氧化碳和二氧化碳含量, 10^{-6}	1.0
氧含量, 10^{-6}	2.0
氮含量, 10^{-6}	0.5
总烃(以甲烷计)含量, 10^{-6}	0.5
水分含量, 10^{-6}	0.5
颗粒	由供需双方商定

表 II.6.1-26 氢 国家标准质量指标^[14]

项 目	指 标
氢纯度, 10^{-2}	99.9995
氮含量, 10^{-6}	2
氧含量, 10^{-6}	0.5

一氧化碳含量, 10^{-6}	0.5
二氧化碳含量, 10^{-6}	0.5
总烃(以甲烷计)含量, 10^{-6}	0.5
水分含量, 10^{-6}	0.5
颗粒	由供需双方商定

表 II.6.1-27 硅烷 国家标准质量指标^[15]

项 目	指 标
纯度, 10^{-2}	99
杂质含量(mol/mol), 10^{-6}	5
一氧化碳和二氧化碳(CO+CO ₂), 10^{-6}	100

续上表

项 目	指 标
氯化物总量(包括氯硅烷, HCl 等离子化的氯化物), 10^{-6}	40
烃(C ₁ ~C ₃), 10^{-6}	40
氢(H ₂), 10^{-6}	9000
氮(N ₂), 10^{-6}	40
氧(O ₂), 10^{-6}	5
水(H ₂ O), 10^{-6}	3

注： 表中纯度及杂质含量均以摩尔分数表示 mol/mol。
多晶硅或二氧化硅用途不规定氮含量。

表 II.6.1-28 磷化氢 国家标准质量指标^[16]

项 目	指 标	
	电子级	发光二极管级
纯度(v/v), 10^{-2}	99.9819	99.9828
砷化氢含量(v/v), 10^{-6}	10	2
二氧化碳含量(v/v), 10^{-6}	10	10
氢含量(v/v), 10^{-6}	100	100
氮含量(v/v), 10^{-6}	50	50
氧含量(v/v), 10^{-6}	5	4
总烃含量(v/v), 10^{-6}	4	4
水分含量, 10^{-6}	2	2

注： 中华人民共和国国家标准 电子工业用气体 磷化氢 GB/T 14851-1993。
磷化氢的保质期为一年。
本标准不包括颗粒和重金属的技术要求。

表 II.6.1-29 六氟化硫 国家标准质量指标^[17]

项 目	指 标
六氟化硫纯度, 10^{-2}	99.99
空气含量, 10^{-6}	50.0
四氟化碳含量, 10^{-6}	15.0
水含量, 10^{-6}	8.0
酸度(以 HF 计)含量, 10^{-6}	1.0

可水解氟化物（以 HF 计）含量， 10^{-6}	1.0
其它杂质（ CO_2 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 SO_2F_2 、 S_2OF_{10} ）含量， 10^{-6}	15.0
杂质总和， 10^{-6}	100
颗粒	由供需双方商定

表 II.6.1-30 氯化氢 国家标准质量指标^[18]

项 目	指 标
氯化氢纯度， 10^{-2}	99.9944
二氧化碳含量， 10^{-6}	10
氮含量， 10^{-6}	16
氧+氩含量， 10^{-6}	5

续上表

项 目	指 标
烃类含量， 10^{-6}	5
水含量， 10^{-6}	10
氢含量， 10^{-6}	10

注： 本指标系瓶装产品的气体质量指标，保证期 6 个月。
表中纯度和含量系体积分数。

表 II.6.1-31 高纯氨 国家标准质量指标^[19]

项 目	指 标
高纯氨纯度， 10^{-2}	99.999
氧含量， 10^{-6}	2
氮含量， 10^{-6}	5
一氧化碳含量， 10^{-6}	1
烃类（ $\text{C}_1\sim\text{C}_3$ ）含量， 10^{-6}	1
水含量， 10^{-6}	5
总杂质含量， 10^{-6}	10

表 II.6.1-32 高纯氯 国家标准质量指标^[20]

项 目	指 标
高纯氯纯度， 10^{-2}	99.996
氧含量， 10^{-6}	4
氮含量， 10^{-6}	20
一氧化碳含量， 10^{-6}	1
二氧化碳含量， 10^{-6}	10
烃类（ $\text{C}_1\sim\text{C}_2$ ）含量， 10^{-6}	1
水含量， 10^{-6}	3

注： $\text{C}_1\sim\text{C}_2$ 系指 CH_4 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6 。
高纯氯中金属和颗粒的要求及检验由供方与用户商定。

（二） SEMI 标准

硅烷、钢瓶装磷烷、钢瓶装砷烷、乙硼烷标准和三氯化硼 SEMI 标准见表 II.6.1-33、表 II.6.1-34、表 II.6.1-35、表 II.6.1-36 和表 II.6.1-37。

表 II.6.1-33 硅烷 SEMI 标准技术指标^[21]

标准名称	C3.54-0697	C3.10-95
纯度, 10^{-2}	99.994	99.994
杂质总含量, 10^{-6}	56.4033	56.4033
砷烷 (AsH_3), 10^{-6}	0.001	0.001
一氧化碳(CO), 10^{-6}	0.1	0.1
二氧化碳 (CO_2), 10^{-6}	0.1	0.1
氯硅烷 (包括 HCl 等可离子化的氯化物, 表示为 Cl ⁻), 10^{-6}	1	1
C ₂ ~C ₄ 烃总量, 10^{-6}	0.1	0.1
氢(H_2), 10^{-6}	50	50
甲烷 (CH_4), 10^{-6}	0.1	0.1

续上表

标准名称	C3.54-0697	C3.10-95
氮(N_2), 10^{-6}	1	1
氧+氩(O_2+Ar), 10^{-6}	—	1
磷烷 (PH_3), 10^{-6}	0.0001	0.0001
乙硅醚 ($H_3SiOSiH_3$), 10^{-6}	1	1
甲基硅烷 (SiH_3-CH_3), 10^{-6}	1	1
乙硅烷 (Si_2H_6), 10^{-6}	1	1
铝 (Al), 10^{-6}	0.0002 (0.2ppba)	0.0002 (0.2ppba)
锑 (Sb), 10^{-6}	0.0002 (0.2ppba)	0.0002 (0.2ppba)
砷 (As), 10^{-6}	0.0002 (0.2ppba)	0.0002 (0.2ppba)
硼 (B), 10^{-6}	0.0002 (0.2ppba)	0.0002 (0.2ppba)
镓 (Ga), 10^{-6}	0.0002 (0.2ppba)	0.0002 (0.2ppba)
磷 (P), 10^{-6}	0.0002 (0.2ppba)	0.0002 (0.2ppba)
其它金属 (Ca+Cr+Cu+Fe+K+Li+Mg+Mn+Mo+Na+Pb+Zn), 10^{-6}	0.001	0.001
水(H_2O) (v/v), 10^{-6}	1	1
颗粒	供需双方商定	供需双方商定
电阻率 (N 型), (.cm) >	2000	2000 (供需双方商定)

注：未考虑有效数字的分析，有效数字的位数取决分析的准确度和所给方法的精密度。
ppba 定义为每 10^9 个硅原子数中杂质的原子数。

表 II.6.1-34 钢瓶装磷烷 SEMI 标准指标(C3.6-95 暂定)^[21]

纯度, 10^{-2}		99.98	
杂质总含量, 10^{-6}		181	
分项杂质含量, 10^{-6}	指标	分项杂质含量, 10^{-6}	指标
砷烷 (AsH_3), 10^{-6}	10	氧+氩(O_2+Ar), 10^{-6}	5
二氧化碳 (CO_2), 10^{-6}	10	C ₁ ~C ₂ (以 CH_4 计), 10^{-6}	4
一氧化碳(CO), 10^{-6}	1	水(H_2O) (v/v), 10^{-6}	1
氢(H_2), 10^{-6}	100	重金属	供需双方商定
氮(N_2), 10^{-6}	50	颗粒	供需双方商定

注：未考虑有效数字的分析，有效数字的位数取决分析的准确度和所给方法的精密度。

表 II.6.1-35 钢瓶装砷烷 SEMI 标准指标(C3.2-92 暂定)^[21]

纯度, 10 ⁻²		99.94	
杂质总含量, 10 ⁻⁶		533	
分项杂质含, 10 ⁻⁶	指 标	分项杂质含量, 10 ⁻⁶	指 标
一氧化碳+二氧化碳, 10 ⁻⁶	2	氧+氩(O ₂ +Ar), 10 ⁻⁶	5
烃(甲烷、乙烷、乙烯、乙炔), 10 ⁻⁶	1	磷烷(PH ₃), 10 ⁻⁶	10
氢(H ₂), 10 ⁻⁶	500	水(H ₂ O)(v/v), 10 ⁻⁶	4
硫化氢(H ₂ S), 10 ⁻⁶	1	重金属	供需双方商定
氮(N ₂), 10 ⁻⁶	10	颗粒	供需双方商定

注：未考虑有效数字的分析，有效数字的位数取决分析的准确度和所给方法的精密度。

表 II.6.1-36 乙硼烷 SEMI 标准指标(C3.44-91) (暂定)^[21]

纯度(mol/mol), 10 ⁻²		99.8	
杂质总含量(mol/mol), 10 ⁻⁶		1012	
分项杂质含量(mol/mol), 10 ⁻⁶	指 标	分项杂质含量(mol/mol), 10 ⁻⁶	指 标
二氧化碳(CO ₂), 10 ⁻⁶	500	水(H ₂ O)(v/v), 10 ⁻⁶	1
烃(C ₁ ~C ₄), 10 ⁻⁶	10	三氟化硼(BF ₃), 10 ⁻⁶	50
氢(H ₂), 10 ⁻⁶	50	丁硼烷(B ₄ H ₁₀), 10 ⁻⁶	300
氮(N ₂), 10 ⁻⁶	50	五硼氢化物(B ₅ H ₉), 10 ⁻⁶	30
氧(O ₂), 10 ⁻⁶	1	五硼氢化物(B ₅ H ₁₁), 10 ⁻⁶	20

注：未考虑有效数字的分析，有效数字的位数取决分析的准确度和所给方法的精密度。

表 II.6.1-37 三氯化硼 SEMI 标准 (C3.51-95) (暂定)^[22]

纯度(mol/mol), 10 ⁻²		99.98	
杂质总含量(mol/mol), 10 ⁻⁶		120	
分项杂质含量(mol/mol), 10 ⁻⁶	指 标	分项杂质含量(mol/mol), 10 ⁻⁶	指 标
氮(N ₂), 10 ⁻⁶	5	光气(COCl ₂), 10 ⁻⁶	1
二氧化碳(CO ₂), 10 ⁻⁶	2	四氯化硅(SiH ₄), 10 ⁻⁶	2
氯气(Cl ₂), 10 ⁻⁶	10	铁(Fe)(以重量计), 10 ⁻⁶	0.5
氢(H ₂), 10 ⁻⁶	100	镍(Ni)(以重量计), 10 ⁻⁶	0.5

注：未考虑有效数字的分析，有效数字的位数取决分析的准确度和所给方法的精密度。

(三) 国外公司标准^[23]

表 II.6.1-38、表 II.6.1-39 和表 II.6.1-40 列出 Scott 公司、Metheson 公司和 MG 公司部分电子气体的技术指标。

表 II.6.1-38 国外公司砷烷气体的技术指标^[21]

项 目	指 标	
	Scott 公司	Metheson 公司
纯度(v/v), 10 ⁻²	99.947	99.9995
氮(N ₂)(v/v), 10 ⁻⁶	10	2
氧(O ₂)(v/v), 10 ⁻⁶	5	1
总烃(以甲烷计)(v/v), 10 ⁻⁶	1	0.5
一氧化碳(CO)(v/v), 10 ⁻⁶	2(总和)	0.1
二氧化碳(CO ₂)(v/v), 10 ⁻⁶		0.5
氢(H ₂)(v/v), 10 ⁻⁶	500	—

水(H ₂ O)(v/v), 10 ⁻⁶	4	2
磷烷 (PH ₃)(v/v), 10 ⁻⁶	10	—

注： Scott Specialty Gases (Electronics Group).1991。
Metheson Gases & Equipment.1993。

表 II.6.1-39 MG 公司 3.5N 的乙硼烷的技术指标^[21]

项 目	指 标
纯度 (v/v), 10 ⁻²	99.95
氮 (v/v), 10 ⁻⁶	20
氧和氩 (v/v), 10 ⁻⁶	5
总烃 (以甲烷计)(v/v), 10 ⁻⁶	2

续上表

项 目	指 标
一氧化碳和二氧化碳 (v/v), 10 ⁻⁶	10
氢(v/v), 10 ⁻⁶	50
高级硼烷(v/v), 10 ⁻⁶	350
铁 (质量比), 10 ⁻⁶	1

表 II.6.1-40 锗烷气体的技术指标^[21]

项 目	指 标	
	Scott 公司	Metheson 公司
纯度 (v/v), 10 ⁻²	99.999	99.99
氮 (v/v), 10 ⁻⁶	2	2
氧 (v/v), 10 ⁻⁶	0.5	0.5
总烃 (以甲烷计)(v/v), 10 ⁻⁶	1	1
一氧化碳 (v/v), 10 ⁻⁶	1	1
二氧化碳 (v/v), 10 ⁻⁶	2	2
氢 (v/v), 10 ⁻⁶	50	50
水 (v/v), 10 ⁻⁶	1	1
Ge ₃ H ₈ (v/v), 10 ⁻⁶	1	—

注： Scott Specialty Gases (Electronics Group).1991。
Metheson Gases & Equipment.1993。

四、电子气体质量对电子器件的影响

(一) 电子气体纯度的影响

电子气体的纯度对于半导体器件的质量与成品率影响很大。电子器件的生产和研究要求气体纯度很高,杂质含量一般要求控制在 10⁻⁶ 至 10⁻⁹ 数量级,对其中有害杂质有严格的规定。表 II.6.1-41、表 II.6.1-42、表 II.6.1-43 和表 II.6.1-44 分别列出日本、美国和西德林德公司半导体工业用气体的纯度^[24]。

表 II.6.1-41 日本半导体工业用气体纯度

气 体	纯 度 (%)	总杂质 (10 ⁻⁶)	O ₂ 含量 (10 ⁻⁶)	N ₂ 含量 (10 ⁻⁶)	露点 ()
氢 (H ₂)	99.9999	<1	<1	<1	<-70
氮 (N ₂)	99.9995	<5	<1	—	<-70
氧 (O ₂)	99.999	<10	—	—	<-70
氩 (Ar)	99.9995	<5	<1	<1	<-70
干燥空气	—	—	—	—	<-70

表 II .6.1-42 美国电子级纯度气体规格

气体	纯度 (%)	杂质 ($\times 10^{-6}$)							
		O ₂	N ₂	THC	CO ₂	H ₂ O	Ar	H ₂	H ₂ S
氢 (H ₂)	99.9998	0.2	1	0.1	0.1	1	—	—	—
氮 (N ₂)	99.999	1	—	0.2	0.2	1	—	—	—
氧 (O ₂)	99.998	—	20	1	1	3	5	—	—
氩 (Ar)	99.999	1	—	0.2	0.2	1	—	—	—
氦 (He)	99.9995	1	1	0.2	0.2	1	—	—	—
硅烷 (SiH ₄)	99.999	0.5	5	0.2	—	1	—	5	—
磷烷 (PH ₃)	99.999	1	3	3	—	2	—	—	—

续上表

气体	纯度 (%)	杂质 ($\times 10^{-6}$)							
		O ₂	N ₂	THC	CO ₂	H ₂ O	Ar	H ₂	H ₂ S
砷烷 (AsH ₃)	99.999	1	5	0.5	2	2	—	—	—
硒化氢 (H ₂ Se)	99.999	1	1	0.5	1	1	—	—	0.5
氨 (NH ₃)	99.9995	1	—	1	—	1	—	—	—

表 II .6.1-43 美国氧气公司高纯度气体规格

气体	纯度 (%)	杂质含量 ($\times 10^{-6}$)									
		Ar	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	N ₂ O	O ₂	H ₂ O	其它
氩 (Ar)	99.9995	—	<0.5	<1	<2	<0.5	<3.0	<0.1	<1	<0.5	<0.5
氢 (H ₂)	99.9995	5.0	<0.5	<1	—	<0.5	<5.0	<0.1	<1	<1.0	<1
氮 (N ₂)	99.9995	5.0	<0.5	<1	<2	<0.5	—	<0.1	<1	<0.5	<0.5
氧 (O ₂)	99.9995	5.0	<0.5	<1	—	<0.5	<15.0	<0.1	—	<0.5	<1

表 II .6.1-44 西德林德公司特种气体规格

气体	纯度 (%)	杂质含量 ($\times 10^{-6}$)							
		Ar	H ₂	N ₂	O ₂	CO ₂	C _n H _m	H ₂ O	其它
氩 (Ar)	99.9995	—	—	2	1	—	—	1	—
氧 (O ₂)	99.9995	10	—	5	—	0.2	0.2	5	—
氮 (N ₂)	99.9995	5	0.1	—	0.5	—	0.1	2	—
氢 (H ₂)	99.9995	—	—	2	1	—	—	1	1

由上述四表可以看出不同的国家，对气体纯度的要求也不一样。主要与产品的集成度、品种和工序有一定的关系。总之集成度越高、几何尺寸越小，PN 结越浅，则要求电子气体的纯度也越高。

(二) 气体中有害杂质对器件质量的影响

气体中微量的氧、水分、碳氢化合物和尘埃等杂质皆属于有害杂质，在半导体器件生产过程中都将直接与硅片接触，因此对器件的影响极大。常用高纯气体（如氩、氮、氢、氦等）中有害杂质给半导体生产带来的危害是很大的，诸如使半导体器件质量变劣、成品率下降、产生各种各样的缺陷等。

气体中微量氧和水分有害杂质，使半导体产品表面生成氧化膜，它是影响器件寿命的重要因数。气体中含碳化合物（如一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物等）的碳，是造成半导体漏电的原因之一。气体中尘埃粒子和金属微粒子，使半导体产生漏电、耐压不良、表面克密度不变、晶格缺陷和断线的主要原因^[25]。

在砷化镓液相外延制取激光器件过程中，气体中有害杂质（如氧和水）是造成器件性能退化、影响寿命的重要因数。当氢中微量氧含量降低至 3×10^{-8} ，露点小于 -90 时，器件寿命可达 10^4 小时；当水含量大于 10×10^{-6} 时，就容易产生多晶的外延层，因为在高温下微量的氧和水分均产生不完全的点滴的二氧化硅（ SiO_2 ），在外延的过程中就将起到杂质聚集中心的作用，在外延层内就形成“暗礁”，从而造成晶格的不完整而形成多晶或缺陷。当氧含量大于 75×10^{-6} 时，则易产生多坑外延层；当氢中氮含量大于 1000×10^{-6} 时，就要产生针状结构；当氢中含有微量的一氧化碳和二氧化碳等烃类时，就将产生星形缺陷。从上所述，不难看出，氢中所含的有害杂质在外延的过程中将产生各种各样的缺陷，这些缺陷的形成机理，不仅与所含杂质的种类及数量有关，而且还与硅片的晶片的晶向和表面状态有关^[26]。

硅外延沉积是高质量 IC 生产中一个十分重要的步骤。沉积层的杂质水平、厚度和微结构完整性取决于沉积过程所使用气体的质量。表 II.6.1-45 示出 750 低温选择性外延沉积中氢气杂质浓度对硅沉积膜性能的影响。

表 II .6.1-45 杂质对硅低温选择性外延沉积的影响

氢气纯度	6N+净化	6N	5N
H ₂ O	50×10^{-9}	50×10^{-9}	$>12 \times 10^{-6}$
O ₂	$<2 \times 10^{-9}$	20×10^{-9}	—
沉积速度	25nm/分	13nm/分	$<4\text{nm/分}$
沉积结构	单晶	多晶	不能生成
选择性	好	好	—

注： 6N=99.9999%
 氢气用苯基锂净化器。
 5N=99.999%

从上表看出，氢中水含量大于 12×10^{-6} 时，沉积不能进行。氧含量为 20×10^{-9} 时，只能生成多晶层；当氧含量小于 2×10^{-9} 时，才能生成质量良好的单晶层^[24]。

（三）气体中水分、微粒与集成度的关系

电子气体已日益成为发展微电子技术重要的、不可少的新型基础材料之一。电子器件的生产和研究要求气体纯度高，同时对有害杂质（如水分、微粒）有严格规定。表 II .6.1-46、表 II .6.1-47 分别示出了露点与集成关系和微粒直径与集成度的关系^[25]。

表 II .6.1-46 露点与集成度的关系

集成度	4~16K	32K	64K	256K	1M	4M	16M
露点	-60	-65	-42	-76	-76	-90	<-90

表 II .6.1-47 微粒直径与集成度的关系

集成度	4K	16K	64K	256K	1M	4M
微粒直径（ μ ）	0.6~1	0.4~0.6	0.3~0.4	0.15~0.3	0.1~0.15	0.06~0.15

参考文献：

- [1] 全国气体标准化技术委员会，气体标准化（内部通讯）.1999（2~3）1~9。
- [2] 蒋鸿堡. 特种气体，1984.（3）.P.62~63
- [3] 唐文俊 特种气体，1985.（3）1
- [4] 原田光 特种气体，1987.（1）30
- [5] 黄建彬主编. 工业气体手册，北京：化学工业出版社，2002：457~458
- [6] 李志行，气体标准化（内部通讯），2002（1~2）：35
- [7] 刘静宜，特种气体，1982.（3）：4~5
- [8] 全国气体标准化技术委员会编，气体标准化（内部通讯），1994（1~2）：92

- [9] Scott Specialty Gases Electronics Group 产品目录 (1990 年)
- [10] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 氩》GB/T 16945-1997
- [11] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 氮》GB/T 16944-1997
- [12] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 氧》GB/T 14604-1993
- [13] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 氦》GB/T 16943-1997
- [14] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 氢》GB/T 16942-1997
- [15] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 硅烷》GB/T 15909-1995
- [16] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 磷化氢》GB/T 14851-1993
- [17] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 六氟化硫》GB/T 18867-2002
- [18] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 氯化氢》GB/T 14602-1993
- [19] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 高纯氨》GB/T 14601-1993
- [20] 中华人民共和国国家标准《电子工业用气体 高纯氯》GB/T 18994-2003
- [21] Semiconductor Equipments and Materials internation,Book of SEMI Standards,(0698),Gases Volume .Mountain View (C.A):Semiconductor Equipments and Materials International,1998,191.
- [22] 全国气体标准化技术委员会, 气体标准化 (内部通讯).1999. (4) .20
- [23] 黄建彬主编 工业气体手册, 北京: 化学工业出版社, 2002: 417
- [24] 特种气体, 1985. (4): 55~56
- [25] 张子青等, 特种气体, 1985. (1): 40
- [26] 特种气体, 1985. (4): 57
- [27] 刘光会. 全国气体标准化技术委员会, 气体标准化 (内部通讯), 1994 (1.2): 42
- [28] 尹恩华. 全国气体标准化技术委员会, 气体标准化 (内部通讯), 1994 (1.2): 51