

电子工程手册系列丛书



半导体器件制造工艺 常用数据手册

电子工程手册编委会 编
刘秀喜 高大江



电子工业出版社

第 330 号 登记 (京)

电子工程手册系列丛书

B5

半导体器件制造工艺 常用数据手册

电子工程手册编委会 编
刘秀喜 高大江



电子工业出版社

(京)新登字 055 号

内 容 简 介

本手册较详细的介绍了半导体器件制造工艺中常用的各种数据,包括物理常数、常用元素、工艺质量分析、器件可靠性、半导体检测、化学原理、表面钝化、腐蚀剂、工艺配方、离子注入、掩模版、光致抗蚀剂、半导体材料、杂质及扩散源、金属材料、纯水、高纯气体、纯化剂、化学试剂、玻璃材料、塑料材料、陶瓷材料、电热材料、温度测量、洁净室标准、工艺安全、器件命名方法、常用数学用表、管壳外形标准化等,均用表格形式给出了各种数据,并附有部分常用曲线图。

本手册内容丰富,查阅方便,实用性强,对从事半导体科研,生产和管理的人员都是一部必备的工具书。

电子工程手册系列丛书

半导体器件制造工艺常用数据手册

刘秀喜 高大江 编

责任编辑: 郭延龄

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 37.875 字数: 970 千字

1992年9月第1版 1992年9月第1次印刷

印数: 1000 册 定价: 40.00 元(平)

印数: 4000 册 定价: 45.00 元(精)

ISBN7-5053-1660-5/TN·470(精)

ISBN7-5053-1661-3/TN·471(平)

前 言

随着电子工业的迅速发展,对半导体器件质量的要求越来越高。虽然影响半导体器件质量的因素很多,但制造工艺是关键。

在研制和生产半导体器件的工艺过程中,有许多常用数据和数学公式。有时为查某个数据或进行某项换算,往往要查找许多书籍、资料,花费很多精力和时间。既使这样,有时也难以如愿以偿,给研制和生产工作带来很多不便。甚至因对有关数据不清楚而造成事故。因此,迅速而准确地查找有关数据,或进行有关数字换算,对半导体器件的研制和生产有着重要的意义。

编者根据科研、生产和教学的实际需要编写了这本手册,将有关数据汇编在一起,以便在工作中查阅。在编写过程中,不仅参考了大量的书籍和资料,而且结合我们的科研与生产实践,尽可能使内容切合实际。

本手册的编写曾得到北京大学教授王阳元、中科院微电子中心高级工程师卢文豪、北京半导体器件二厂高级工程师嵇光大、北京电力电子器件开发中心高级工程师赵忠理、济宁硅元件厂总工程师陈刚等同志的指导和帮助赵忠理,并对书稿进行了认真审阅。在此,谨向这些同志和其他人士(包括参考书籍和资料的作者)深表谢意。

由于水平所限,该手册难免缺点,甚至于错误,敬请读者批评、指正。

编 者

1991年6月

目 录

一、常用物理单位和换算	1
二、常用元素的基本性质	17
三、半导体工艺质量分析	31
四、半导体器件的可靠性	49
五、半导体检测与分析	67
六、半导体工艺化学原理	94
七、半导体表面钝化	111
八、常用的腐蚀剂	132
九、常用配方	153
十、离子注入工艺中的有关数据	175
十一、掩模版和光致抗蚀剂	191
十二、半导体材料的重要性质	205
十三、单晶材料的质量及制备	235
十四、扩散杂质的性质	253
十五、杂质扩散源及质量指标	274
十六、常用金属的性质和质量指标	291
十七、半导体与金属间的性质	321
十八、水的性质及纯度	335
十九、高纯气体和纯化剂	358
二十、常用化学试剂的规格、纯度及其性质	381
二十一、常用有机和无机化合物的物理性质	401
二十二、常用碱溶液、酸的密度和浓度	411
二十三、常用玻璃材料的性能	422
二十四、常用塑料的性能	432
二十五、常用陶瓷材料的性能	451
二十六、电热材料、热电偶的温度-毫伏当量表	463
二十七、其他常用材料	491
二十八、尘埃、洁净室等级和杂质污染	501
二十九、半导体工艺中的安全	514
三十、半导体器件型号命名方法	529
三十一、常用数学表	541
三十二、半导体器件管壳外形标准化	555
附录一 相图	573
附录二 半导体器件工艺常用曲线图	579
附录三 硅中扩散杂质浓度分布 N_x-x 关系曲线图	586

一、常用物理单位和换算

1-1 物理常数

物理量	符号	关系式	数值
真空磁导率	μ_0		$4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ (亨利/米) $= 12.5663706144 \times 10^{-7} \text{H/m}$
真空中光速	c		299792458 m/s (米/秒) $2.997925 \times 10^{10} \text{cm/s}$ (厘米/秒)
真空电容率 (自由空间介电常数)	ϵ_0	$\epsilon_0 = (\mu_0 c^2)^{-1}$	$8.85418782 \times 10^{-12} \text{F/m}$ (法拉/米)
精细结构常数	α α^{-1}	$\alpha^{-1} = \mu_0 c^2 / 2h$	0.0072973506 137.03604
基本电荷	e		$1.6021892 \times 10^{-19} \text{C}$ (库仑)
阿伏伽德罗常数	N_A		$6.022045 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ (摩尔)
普朗克常数	h \hbar	$\hbar = h/2\pi$	$6.626176 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ (焦耳·秒) $4.1357 \times 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}$ (电子伏·秒) $1.0545887 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$
原子质量单位	u		$1.6605655 \times 10^{-27} \text{kg}$ (千克)
电子静止质量	m_e		$0.9109534 \times 10^{-30} \text{kg}$ (千克)
μ 介子静止质量	m_μ		$1.883566 \times 10^{-28} \text{kg}$
质子静止质量	m_p		$1.6726485 \times 10^{-27} \text{kg}$
中子静止质量	m_n		$1.6749543 \times 10^{-27} \text{kg}$
质子电子质量比		m_p/m_e	1836.15152
μ 介子电子质量比		m_μ/m_e	206.76865
电子荷质比		e/m_e	$1.7588047 \times 10^{11} \text{C/kg}$ (库仑/千克)
电子半径	r_e	$r_e = \mu_0 e^2 / 4\pi m_e$	$2.8179380 \times 10^{-15} \text{m}$ (米)
电子静能量	e_0	$e_0 = m_e c^2$	$0.51 \times 10^6 \text{eV}$ (电子伏) $8.2 \times 10^{-14} \text{J}$ (焦耳)
法拉第常数	F	$F = N_A e$	$9.648456 \times 10^4 \text{C/mol}$ (库仑/摩尔)
磁通量子	Φ_0	$\Phi_0 = h/2e$ h/c	$2.0678506 \times 10^{-15} \text{Wb}$ (韦伯) $4.135701 \times 10^{-15} \text{Wb}$
环流量子		$h/2m_e$ h/m_e	$3.6369455 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ (米 ² /秒) $7.273891 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$
里德伯常数	R_∞		$1.097373177 \times 10^7 \text{m}^{-1}$

表 1-1 (续)

物 理 量	符 号	关 系 式	数 值
玻尔半径	a_0		$0.52917706 \times 10^{-10} \text{m}$
玻尔磁子	μ_B	$\mu_B = eh/2m_e$	$9.274078 \times 10^{-24} \text{A} \cdot \text{m}^2$ (安培·米 ²)
核磁子	μ_N	$\mu_N = eh/2m_p$	$5.050824 \times 10^{-27} \text{A} \cdot \text{m}^2$
电子磁矩	μ_e		$9.284832 \times 10^{-24} \text{A} \cdot \text{m}^2$
质子磁矩	μ_p		$1.4106171 \times 10^{-26} \text{A} \cdot \text{m}^2$
电子质子磁矩比		μ_e/μ_p	658.2106880
μ 介子磁矩	μ_μ		$4.490474 \times 10^{-26} \text{A} \cdot \text{m}^2$
μ 介子质子磁矩比		μ_μ/μ_p	3.1833402
质子的康普顿波长	$\lambda_{c,p}$ $\tilde{\lambda}_{c,p}$	$\lambda_{c,p} = h/m_p c$ $\tilde{\lambda}_{c,p} = \lambda_{c,p}/2\pi$	$1.3214099 \times 10^{-15} \text{m}$ $2.1030892 \times 10^{-16} \text{m}$
中子的康普顿波长	$\lambda_{c,n}$ $\tilde{\lambda}_{c,n}$	$\lambda_{c,n} = h/m_n c$ $\tilde{\lambda}_{c,n} = \lambda_{c,n}/2\pi$	$1.3195909 \times 10^{-15} \text{m}$ $2.1001941 \times 10^{-16} \text{m}$
摩尔气体常数	R		$8.31441 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
理想气体在标准状态下的摩尔体积	V_m	$V_m = RT_0/P_0$	$0.02241383 \text{m}^3/\text{mol}$ (米 ³ /摩尔)
玻耳兹曼常数	k	$k = R/N_A$	$1.380662 \times 10^{-23} \text{J}/\text{K}$
第一辐射常数	c_1	$c_1 = 2\pi hc^2$	$3.741832 \times 10^{-16} \text{W} \cdot \text{m}^2$ (瓦特·米 ²)
第二辐射常数	c_2	$c_2 = hc/k$	$0.01438786 \text{m} \cdot \text{K}$
电子的康普顿波长	λ_c $\tilde{\lambda}_c$	$\lambda_c = a^2/2R_\infty$ $\tilde{\lambda}_c = \lambda_c/2\pi$	$2.4263089 \times 10^{-12} \text{m}$ $3.8615905 \times 10^{-13} \text{m}$
自由电子 g 因数	$g_e/2$	$g_e/2 = \mu_e/\mu_B$	1.0011596567
自由 μ 介子 g 因数	$g_\mu/2$		1.00116616
引力常数	G		$6.6720 \times 10^{-11} \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$ (米 ³ /千克·秒 ²)
重力加速度	g_0		$980.665 \text{cm}/\text{s}^2$ (厘米/秒 ²)
绝对零度			-273.16°C
洛喜米特数	n_0	$n_0 = \frac{N_0}{V_0}$	2.686781×10^{19} (分子/厘米 ³)
1 电子伏的能量			$1.601864 \times 10^{-19} \text{J}$ (焦耳)
斯忒藩-玻耳兹曼常数	σ	$\sigma = (\pi^2/60)k^4/h^3c^2$	$5.67032 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
干燥空气的密度 (在标准条件下)			0.001293 (克/厘米 ³)

1-2 长度单位及换算

单位	米 (m)	分米 (dm)	厘米 (cm)	毫米 (mm)	微米 (μm)	纳米 (nm)	埃 (\AA)	皮米 (pm)
米	1	10	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{10}	10^{12}
分米	10^{-1}	1	10	10^2	10^5	10^8	10^9	10^{11}
厘米	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^4	10^7	10^8	10^{10}
毫米	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^3	10^6	10^7	10^9
微米	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	1	10^3	10^4	10^6
纳米	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-3}	1	10	10^3
埃	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-1}	1	10^2
皮米	10^{-12}	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	1

1-3 面积换算

单位	平方米 (m^2)	平方分米 (dm^2)	平方厘米 (cm^2)	平方毫米 (mm^2)	平方微米 (μm^2)
平方米	1	10^2	10^4	10^6	10^{12}
平方分米	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^{10}
平方厘米	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^8
平方毫米	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^6
平方微米	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	1

1-4 体积换算

单位	立方米 (m^3)	立方分米 (dm^3)	立方厘米 (cm^3)	立方毫米 (mm^3)
立方米	1	10^3	10^6	10^9
立方分米	10^{-3}	1	10^3	10^6
立方厘米	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3
立方毫米	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

1-5 容积换算

容量单位	千升 (kl)	百升 (hl)	十升 (dal)	升 (l)	分升 (dl)	厘升 (cl)	毫升 (ml)	微升 (μl)
千升	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^9
百升	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^8
十升	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4	10^7
升	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^6
分升	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^5
厘升	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^4
毫升	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^3
微升	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	1

1-6 质量单位及换算

单位	千克 (kg)	百克 (hg)	十克 (dag)	克 (g)	分克 (dg)	厘克 (cg)	毫克 (mg)	微克 (μ g)
千克	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^9
百克	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^8
十克	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4	10^7
克	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^6
分克	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^5
厘克	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^4
毫克	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^3
微克	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	1

注：常用质量单位是 kg、g、mg、 μ g

1-7 时间单位及换算

单位	分 (min)	秒 (s)	毫秒 (ms)	微秒 (μ s)	纳秒 (ns)
分	1	6×10	6×10^4	6×10^7	6×10^{10}
秒	$(6 \times 10)^{-1}$	1	10^3	10^6	10^9
毫秒	$(6 \times 10^4)^{-1}$	10^{-3}	1	10^3	10^6
微秒	$(6 \times 10^7)^{-1}$	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3
纳秒	$(6 \times 10^{10})^{-1}$	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

注：h——小时；d——日；a——年。

1-8 硬度单位及换算

单位	meq/l	德国度	法国度	英国度	美国度
1 毫克当量/升	1	2.804	5.005	3.511	50.045
1 德国度	0.35663	1	1.7848	1.2521	17.847
1 法国度	0.19932	0.5603	1	0.7015	10
1 英国度	0.28483	0.7987	1.4255	1	14.253
1 美国度	0.01993	0.0560	0.1	0.0702	1

注：用于水的硬度

1-9 常用力学、光学、电磁辐射的单位

计量名称	单位名称	符号	换算
力，重力	牛[顿]	N	1 牛 = 10^3 毫牛 = 10^6 微牛
	兆牛	MN	1 兆牛 = 10^6 牛
	千牛	KN	1 千牛 = 10^3 牛
	毫牛	mN	1 毫牛 = 10^{-3} 牛
	微牛	μ N	1 微牛 = 10^{-6} 牛
压力，压强	帕[斯卡]	Pa	1 帕 = 10^3 毫帕 = 10^6 微帕
	吉[咖]帕	GPa	1 吉帕 = 10^9 帕
	兆帕	MPa	1 兆帕 = 10^6 帕
	千帕	KPa	1 千帕 = 10^3 帕
	毫帕	mPa	1 毫帕 = 10^{-3} 帕
微帕	μ Pa	1 微帕 = 10^{-6} 帕	

表 1-9 (续)

计量名称	单位名称	符 号	换 算
[动力]粘度	帕[斯卡]秒	Pa · s	1 帕秒=10 ³ 毫帕秒
	毫帕[斯卡]秒	mPa · s	1 毫帕秒=10 ⁻³ 帕秒
功,能[量]	焦[耳]	J	1 焦=10 ³ 毫焦
	拍[它]焦	PJ	1 拍焦=10 ¹⁵ 焦
	太[拉]焦	TJ	1 太焦=10 ¹² 焦
	吉[咖]焦	GJ	1 吉焦=10 ⁹ 焦
	兆焦	MJ	1 兆焦=10 ⁶ 焦
	千焦	KJ	1 千焦=10 ³ 焦
	毫焦	mJ	1 毫焦=10 ⁻³ 焦
	电子伏	eV	
千电子伏	KeV	1 千电子伏=10 ³ 电子伏	
兆电子伏	MeV	1 兆电子伏=10 ⁶ 电子伏	
功率	瓦[特]	W	1 瓦=10 ³ 毫瓦=10 ⁶ 微瓦
	兆瓦	MW	1 兆瓦=10 ⁶ 瓦
	千瓦	KW	1 千瓦=10 ³ 瓦
	毫瓦	mW	1 毫瓦=10 ⁻³ 瓦
	微瓦	μW	1 微瓦=10 ⁻⁶ 瓦
	线[膨]胀系数	每开[尔文]	K ⁻¹ 可以用 °C 代替 K
热, 热量	焦[耳]	J	1 焦=10 ³ 毫焦
	拍[它]焦	PJ	1 拍焦=10 ¹⁵ 焦
	太[拉]焦	TJ	1 太焦=10 ¹² 焦
	吉[咖]焦	GJ	1 吉焦=10 ⁹ 焦
	兆焦	MJ	1 兆焦=10 ⁶ 焦
	千焦	KJ	1 千焦=10 ³ 焦
	毫焦	mJ	1 毫焦=10 ⁻³ 焦
热导率(导热系数)	瓦[特]每米开[尔文]	W/m · K	
		可以用 °C 代替 K	
辐[射]能	焦[耳]	J	
辐[射]功率	瓦[特]	W	
辐[射]照度	瓦[特]每平方米	W/m ²	
发光强度	坎[德拉]	cd	
光通量	流[明]	lm	
光量	流[明]秒	lm · s	
光照度	勒[克斯]	lx	
曝光量	勒[克斯]秒	lx · s	
光视效能	流明每瓦	lm/W	

1-10 常用电学和磁学单位

计量名称	单位名称	符号	换 算
电 流	安[培]	A	1 安=10 ³ 毫安=10 ⁶ 微安=10 ⁹ 纳安
	千安	KA	1 千安=10 ³ 安
	毫安	mA	1 毫安=10 ³ 微安=10 ⁶ 纳安
	微安	μA	1 微安=10 ³ 纳安=10 ⁶ 皮安
	纳安	nA	1 纳安=10 ⁻⁹ 安=10 ³ 皮安
	皮安	PA	1 皮安=10 ⁻¹² 安
电 荷[量]	库[仑]	C	1 库=10 ⁶ 微库=10 ⁹ 纳库
	千库	KC	1 千库=10 ³ 库
	微库	μC	1 微库=10 ³ 纳库=10 ⁶ 皮库
	纳库	nC	1 纳库=10 ⁻⁹ 库=10 ³ 皮库
	皮库	PC	1 皮库=10 ⁻¹² 库
电 场 强 度	伏[特]每米	V/m	
	兆伏每米	MV/m	
	千伏每米	KV/m	
	伏每厘米	V/cm	
	伏每毫米	V/mm	
	毫伏每米	mV/m	
	微伏每米	μV/m	
电 压, 电 位, 电 势, 电 位 差, 电 动 势	伏[特]	V	1 伏=10 ³ 毫伏=10 ⁶ 微伏
	兆伏	MV	1 兆伏=10 ⁶ 伏
	千伏	KV	1 千伏=10 ³ 伏
	毫伏	mV	1 毫伏=10 ⁻³ 伏=10 ³ 微伏
	微伏	μV	1 微伏=10 ⁻⁶ 伏
电 容	法[拉]	F	1 法=10 ⁶ 微法
	毫法	mF	1 毫法=10 ⁻³ 法=10 ³ 微法
	微法	μF	1 微法=10 ⁻⁶ 法=10 ³ 纳法
	纳法	nF	1 纳法=10 ³ 皮法
	皮法	pF	1 皮法=10 ⁻¹² 法
介 电 常 数 (电 容 率)	法[拉]每米	F/m	
	微法每米	μF/m	
	纳法每米	nF/m	
	皮法每米	PF/m	
磁 场 强 度	安[培]每米	A/m	
	千安每米	KA/m	
	安每毫米	A/mm	
	安每厘米	A/cm	
磁 感 应 强 度	特[斯拉]	T	1 特=10 ³ 毫特=10 ⁶ 微特=10 ⁹ 纳特
	毫特	mT	1 毫特=10 ⁻³ 特=10 ³ 微特=10 ⁶ 纳特
	微特	μT	1 微特=10 ⁻⁶ 特=10 ³ 纳特
	纳特	nT	1 纳特=10 ⁻⁹ 特

表 1-10 (续)

计量名称	单位名称	符号	换 算
磁通[量]	韦[伯]	Wb	1 韦=10 ³ 毫韦
	毫韦[伯]	mWb	1 毫韦=10 ⁻³ 韦
自感,互感	亨[利]	H	1 亨=10 ³ 毫亨=10 ⁶ 微亨
	毫亨	mH	1 毫亨=10 ³ 微亨=10 ⁶ 纳亨
	微亨	μ H	1 微亨=10 ³ 纳亨=10 ⁶ 皮亨
	纳亨	nH	1 纳亨=10 ⁻⁹ 亨=10 ³ 皮亨
	皮亨	pH	1 皮亨=10 ⁻¹² 亨
电阻	欧[姆]	Ω	1 欧=10 ⁶ 微欧
	吉欧	G Ω	1 吉欧=10 ⁹ 欧
	兆欧	M Ω	1 兆欧=10 ⁶ 欧
	千欧	K Ω	1 千欧=10 ³ 欧
	微欧	$\mu\Omega$	1 微欧=10 ⁻⁶ 欧
电阻率	欧[姆]米	$\Omega \cdot m$	1 欧米=10 ³ 毫欧米=10 ⁶ 微欧米
	吉欧米	G $\Omega \cdot m$	1 吉欧米=10 ⁹ 欧米
	兆欧米	M $\Omega \cdot m$	1 兆欧米=10 ⁶ 欧米
	千欧米	K $\Omega \cdot m$	1 千欧米=10 ³ 欧米
	欧厘米	$\Omega \cdot cm$	
	毫欧米	m $\Omega \cdot m$	1 毫欧米=10 ⁻³ 欧米=10 ³ 微欧米
	微欧米	$\mu\Omega \cdot m$	1 微欧米=10 ⁻⁶ 欧米=10 ³ 纳欧米
	纳欧米	n $\Omega \cdot m$	1 纳欧米=10 ⁻⁹ 欧米
电导率	西[门子]每米	s/m	
	兆西每米	Ms/m	
	千西每米	Ks/m	
功率	瓦[特]	W	
	太[拉]瓦	TW	1 太瓦=10 ¹² 瓦
	吉[咖]瓦	GW	1 吉瓦=10 ⁹ 瓦
	兆瓦	MW	1 兆瓦=10 ⁶ 瓦
	千瓦	KW	1 千瓦=10 ³ 瓦
	毫瓦	mW	1 毫瓦=10 ⁻³ 瓦=10 ³ 微瓦
	微瓦	μ W	1 微瓦=10 ⁻⁶ 瓦=10 ³ 纳瓦
纳瓦	nW	1 纳瓦=10 ⁻⁹ 瓦	
电能[量]	焦[耳]	J	1 焦=10 ³ 毫焦=10 ⁶ 微焦
	太焦	TJ	1 太焦=10 ¹² 焦
	吉焦	GJ	1 吉焦=10 ⁹ 焦
	兆焦	MJ	1 兆焦=10 ⁶ 焦
	毫焦	mJ	1 毫焦=10 ⁻³ 焦=10 ³ 微焦
	微焦	μ J	1 微焦=10 ⁻⁶ 焦
周期	秒	s	1 秒=10 ³ 毫秒=10 ⁶ 微秒
	毫秒	ms	1 毫秒=10 ⁻³ 秒=10 ³ 微秒
	微秒	μ s	1 微秒=10 ⁻⁶ 秒

表 1-10 (续)

计量名称	单位名称	符号	换 算
频率	赫[兹]	Hz	
	兆赫	MHz	1 兆赫 = 10^6 赫
	千赫	KHz	1 千赫 = 10^3 赫
波长	米	m	1 米 = 10^3 毫米
	毫米	mm	1 毫米 = 10^{-3} 米

1-11 电磁量单位换算

计 量 名 称	国际单位制 (SI) 名称	换算成电磁单位 需乘的数	换算成静电单位 需乘的数
电荷、电量	库仑 C	10^{-1}	3×10^9
电流	安培 A	10^{-1}	3×10^9
电位、电压、电动势	伏特 V	10^8	$\frac{1}{3} \times 10^{-2}$
电阻	欧姆 Ω	10^9	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$
电场强度	伏特每米 V/m	10^6	$\frac{1}{3} \times 10^{-6}$
电位移	库仑每平方米 C/m^2	$4\pi \times 10^{-3}$	$12\pi \times 10^3$
电容	法拉 F	10^{-9}	9×10^{11}
磁通(量)	韦伯 Wb	10^8 (麦克斯韦)	$\frac{1}{300}$
磁感应强度	特斯拉(韦伯/米 ²)	10^4 (高斯)	$\frac{1}{3} \times 10^{-6}$
磁场强度	安培每米 A/m	$4\pi \times 10^{-3}$ (奥斯特)	$12\pi \times 10^7$
电感	亨利 H	10^9	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$
电容率(介电常数)	法拉每米 F/m	$4\pi \times 10^{-11}$	$36\pi \times 10^9$
磁导率	亨利每米 H/m	$\frac{1}{4\pi} \times 10^7$	$\frac{1}{36\pi} \times 10^{-13}$
霍尔系数	米 ³ /库仑*	3×10^{17}	$\frac{1}{9} \times 10^{-13}$

*：米³/库仑 = 10^6 厘米³/库仑 = 10^{-2} 伏·厘米/安·高斯

1-12 溶液浓度单位及其换算

序号	浓度名称	符号	定 义	换 算
1	比重	d	一定体积溶液重量与 4℃ 时同体积水重量的比值	(1) 重量体积浓度 (g/L) = 重量百分浓度 × 比重 × 10
2	体积比浓度	A:B	A 体积数液体试剂与 B 体积数溶剂相混合	(2) 克分子浓度 (M) = 重量体积浓度 (g/L) / 克分子量
3	重量体积浓度	W/V	单位体积中所含溶质的重量, 常用 g/L, mg/ml 等表示	(3) 当量浓度 (N) = 克分子浓度 × 克分子量 / 克当量
4	重量体积百分浓度	W/V%	100ml 溶液中含有溶质的克数	(4) 滴定度 (T _A) = 当量液
5	体积百分浓度		100ml 溶液中含有液体溶质的毫升数	
6	重量百分浓度		100g 溶液中含有溶质的克数	

表 1-12 (续)

序号	浓度名称	符号	定 义	换 算
7	体积克分子浓度	M	1 升溶液中含有溶质的克分子数	度 (N) × 克当量/1000
8	重量克分子浓度	m	100g溶剂中含有溶质的克分子数	(g/毫米)
9	当量浓度	N	1 升溶液中含有溶质的克当量数	(5) 重量体积浓度 (g/L) =
10	克式浓度	F	1 升溶液中含有溶质的克式量数	滴定度 (g/ml) × 1000
11	滴定度	T	每毫升标准溶液中含有滴定剂的克数,以 $T_{A/B}$ 表示, A 是滴定剂的化学式, B 是被测物质化学式	(6) 1ppm 数=1重量体积浓度 (mg/L) = 1000ppb
12	滴度		1/20 当量浓度	
13	ppm		百万分率(即 10^{-6})	
14	ppb		十亿分率(即 10^{-9})	
15	pM		克分子浓度的负对数,如 pH6 = $10^{-6}M(H^+)$	

1-13 常用法定计量单位与旧单位对照表

旧 单 位		用法定计量单位表示的形式或值
单位名称	符 号	
公尺	M	m (米)
公寸		0.1m (米)
公分		cm (厘米)
公厘		mm (毫米)
丝米	dmm	0.1mm (毫米)
忽米	cmm	0.01mm (毫米)
英尺,呎	ft	30.48cm (厘米)
英寸,吋	in	25.4mm (毫米)
密耳	mil	25.4 μ m (微米)
平方英寸	in ²	6.452cm ² (平方厘米)
平方密耳	mil ²	645 μ m ² (平方微米)
立升,公升		l, L (升)
	cc	1cm ³ (立方厘米),或 1mL (毫升)
磅	lb	0.453592kg (千克,公斤)
达因	dyn	1g · cm/s ² = $10^{-5}N$ (牛顿)
千克力	kgf	9.80665N (牛顿)
磅力	lbf	4.44822N (牛顿)
巴	bar, b	0.1MPa 或 10^5Pa (帕)
托	Torr	133.322Pa (帕)
标准大气压	atm	101.325kPa (千帕)
工程大气压	at	98.0665kPa (千帕)
毫米汞柱	mmHg	133.322Pa (帕)
毫米水柱	mmH ₂ O	9.80665Pa (帕)
达因每平方厘米	dyn/cm ²	0.1Pa (帕)

表 1-13 (续)

旧 单 位		用法定计量单位表示的形式或值
单位名称	符 号	
磅力每平方英寸	Psi, P . s . i	$6894.7 \times 10^3 \text{Pa}$ (帕)
千克力每平方厘米	kgf/cm ²	$9.80665 \times 10^4 \text{Pa}$ (帕)
尔格	erg	10^{-7}J (焦耳)
卡	cal	4.1868J (焦耳)
1 升大气压		101.325J (焦耳)
米制马力		735499W (瓦特)
英制马力		745700W (瓦特)
尔格每秒		10^{-7}W (瓦特)
泊	p	$0.1 \text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕秒)
厘泊	cp	$10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕秒)
斯[托克斯]	St	$10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ (二次方米每秒)
厘斯	cSt	$10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ (二次方米每秒)
高斯	G	10^{-4}T (特斯拉)
麦克斯韦	Mx	10^{-8}Wb (韦伯)
吉伯	Gb	0.795775A (安培)
奥斯特	Oe	79.5775A/m
开氏度	°K	K (开尔文)
列氏度	°R	$1.25 \text{K} = 1.25^\circ \text{C}$
华氏度	°F	0.555556K
克分子		mol (摩尔)
克原子		mol (摩尔)
克当量		mol (摩尔)
克式量		mol (摩尔)

1-14 无线电波段、频率范围划分表

频 率			波 长		
名称	符号	范 围	名称	符号	范 围
甚低频	VLF	30~3 千赫	超长波		10000~100000 米
低频	LF	300~30 千赫	长波	LW	1000~10000 米
中频	MF	1500~300 千赫	中波	MW	200~1000 米
中高频	IF	6000~1500 千赫	中短波	SW	50~200 米
高频	HF	30~6 兆赫	短波	SW	10~50 米
甚高频	VHF	300~30 兆赫	米波		1~10 米
特高频	UHF	3000~300 兆赫	分米波		10~100 厘米
超高频	SHF	30~3 吉赫	厘米波		1~10 厘米
极高频	EHF	300~30 吉赫	毫米波		1~10 毫米
极超高频		300 吉赫	亚毫米波		1 毫米以下

1-15 有代表性的电磁波的波长、频率、波数和能量的关系

波的种类	波长(纳米, nm)	频率(赫兹, Hz)	波数(厘米 ⁻¹)	能量(千卡/爱因斯坦)*
无线电波	1.00×10^{12} (1000m)	3.00×10^3 (300KHz)	1.00×10^{-3}	0.0000000286
短波无线电波	1.00×10^{10} (10m)	3.00×10^7 (30MHz)	1.00×10^{-3}	0.00000286
微波	1.00×10^7 (1cm)	3.00×10^{10} (30GHz)	1.00	0.00286
远红外	1.00×10^4 (10 μ m)	3.00×10^{13}	1.00×10^3	2.86
近红外	1.00×10^3 (1 μ m)	3.00×10^{14}	1.00×10^4	28.6
可见光				
红光	7.00×10^2	4.28×10^{14}	1.43×10^4	40.8
橙光	6.20×10^2	4.84×10^{14}	1.61×10^4	46.1
黄光	5.80×10^2	5.17×10^{14}	1.72×10^4	49.3
绿光	5.30×10^2	5.66×10^{14}	1.89×10^4	53.9
青光	4.70×10^2	6.38×10^{14}	2.13×10^4	60.8
紫光	4.20×10^2	7.14×10^{14}	2.38×10^4	68.1
紫外	3.00×10^2	1.00×10^{15}	3.33×10^4	95.3
远紫外	2.00×10^2	1.50×10^{15}	5.00×10^4	142.9
长X射线	3.00×10	1.00×10^{16}	3.33×10^5	953.0
短X射线	1.00×10^{-1}	3.00×10^{18}	1.00×10^8	285910
Y射线	1.00×10^{-3}	3.00×10^{20}	1.00×10^{10}	28591000

光化学领域

放射线
化学领域

注: *摩尔数的光子的能量 E, 即 N_0 称为爱因斯坦; 其中 N 为阿伏加德罗常数, 它表示 1 摩尔化学物质中的分子数 (6.025×10^{23}), h 为一个光子的能

1-16 光能量换算表

纳米 (nm)	波数 (cm^{-1})	千卡/ mol	电子伏 (eV)	纳米 (nm)	波数 (cm^{-1})	千卡/ mol	电子伏 (eV)	纳米 (nm)	波数 (cm^{-1})	千卡/ mol	电子伏 (eV)
120	83333	237.59	10.33	260	38462	109.71	4.77	400	25000	71.30	3.10
125	80000	228.16	9.92	265	37736	107.64	4.68	405	24691	70.38	3.06
130	76923	219.42	9.54	270	37037	105.57	4.59	410	24390	69.46	3.02
135	74074	211.14	9.18	275	36364	103.73	4.51	415	24096	68.77	2.99
140	71429	203.78	8.86	280	35714	101.89	4.43	420	23810	67.85	2.95
145	68966	196.65	8.55	285	35088	100.05	4.35	425	23529	67.16	2.92
150	66667	190.21	8.27	290	34483	98.44	4.28	430	23256	66.24	2.88
155	64516	184.00	8.00	295	33898	96.60	4.20	435	22989	65.55	2.85
160	62500	178.25	7.75	300	33333	94.99	4.13	440	22727	64.86	2.82
165	60606	172.73	7.51	305	32787	93.38	4.06	445	22472	64.17	2.79
170	58824	167.67	7.29	310	32258	92.00	4.00	450	22222	63.48	2.76
175	57143	162.84	7.08	315	31746	90.62	3.94	455	21978	62.56	2.72
180	55556	158.47	6.89	320	31250	89.01	3.87	460	21739	62.10	2.70
185	54054	154.10	6.70	325	30769	87.63	3.81	465	21505	61.41	2.67
190	52632	150.19	6.53	330	30303	86.48	3.76	470	21277	60.72	2.64
195	51282	146.28	6.36	335	29851	85.10	3.70	475	21053	60.03	2.61
200	50000	142.60	6.20	340	29412	83.95	3.65	480	20833	59.34	2.58
205	48780	139.15	6.05	345	28986	82.57	3.59	485	20619	58.88	2.56
210	47619	135.70	5.90	350	28571	81.42	3.54	490	20408	58.19	2.53
215	46512	132.71	5.77	355	28169	80.27	3.49	495	20202	57.50	2.50
220	45455	129.72	5.64	360	27778	79.12	3.44	500	20000	57.04	2.48
225	44444	126.73	5.51	365	27397	78.20	3.40	505	19802	56.58	2.46
230	43478	123.97	5.39	370	27027	77.05	3.35	510	19608	55.89	2.43
235	42553	121.44	5.28	375	26667	76.13	3.31	515	19417	55.43	2.41
240	41667	118.91	5.17	380	26316	74.98	3.26	520	19231	54.74	2.38
245	40816	116.38	5.06	385	25974	74.06	3.22	525	19048	54.28	2.36
250	40000	114.08	4.96	390	25641	73.14	3.18	530	18868	53.82	2.34
255	39216	111.78	4.86	395	25316	72.22	3.14	535	18692	53.36	2.32