



中华人民共和国国家标准

GB 29447—XXXX

代替 GB 29447-2012、GB 29413-2012、GB 29447-2022

硅多晶和锗单位产品能源消耗限额

The norm of energy consumption per unit products of polysilicon and germanium

(征求意见稿)

XXXX- XX- XX 发布

XXXX- XX- XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替了GB 29447—2022，与GB 29447—2022相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 范围中增加了硅烷流化床法生产的硅多晶（见第1章，2022年版的第1章）；
- b) 更改了规范性引用文件（见第2章，2022年版的第2章）；
- c) 更改了能耗三个等级值（见第4章，2022年版的第4章）；
- d) 增加了硅烷流化床法生产的硅多晶的统计范围（见第6.1章，2022年版的6.1）；
- e) 增加了硅烷流化床法生产的硅多晶的质量要求（见第6.2章，2022年版的6.2）。

本文件由国家标准化管理委员会提出并归口。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——本文件于2012年首次发布为GB 29447—2012、GB 29413—2012，2022年整合修订为GB 29447—2022，本次为第二次修订。

硅多晶和锗单位产品能源消耗限额

1 范围

本文件规定了硅多晶和锗单位产品能源消耗（以下简称能耗）限额等级、技术要求、能耗统计范围和计算方法。

本文件适用于以三氯氢硅法或硅烷流化床法生产光伏用硅多晶（以下简称硅多晶）的企业，以锗精矿、再生锗原料为原料生产高纯四氯化锗、高纯二氧化锗、区熔锗锭、锗单晶的企业进行能耗的计算、考核以及新建和改扩建项目的能耗控制。

本文件不适用于电子级硅多晶及区熔级硅多晶。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2589 综合能耗计算通则
- GB/T 5238 锗单晶和锗单晶片
- GB/T 11069 高纯二氧化锗
- GB/T 11071 区熔锗锭
- GB/T 12723 单位产品能源消耗限额编制通则
- GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则
- GB/T 25074 太阳能级硅多晶
- GB/T 35307 流化床法颗粒硅
- YS/T 13 高纯四氯化锗

3 术语和定义

GB/T 2589、GB/T 12723、GB/T 5238、GB/T 11069、GB/T 11071、GB/T 25074、YS/T 13、GB/T 35307界定的术语和定义适用于本文件。

4 能耗限额等级

4.1 硅多晶

硅多晶单位产品能耗限额等级见表 1，其中 1 级能耗最低。

表 1 硅多晶单位产品能耗限额等级

产品	单位产品综合能耗 kgce/kg		
	1级	2级	3级
硅多晶（三氯氢硅法）	5	5.5	6.4
硅多晶（硅烷流化床法）	3.6	4.0	5.0

4.2 锆

锆单位产品能耗限额等级见表2，其中1级能耗最低。

表 2 锆单位产品能耗限额等级

产品 (工艺、工序)	锆单位产品综合能耗 kgce/kg		
	1 级	2 级	3 级
高纯四氯化锆 (以锆精矿、再生锆原料经氯化蒸馏、精馏工序生产)	≤ 5.2	≤ 5.5	≤ 9.3
高纯二氧化锆 (以高纯四氯化锆为原料经水解、烘干、焙烧工序生产)	≤ 0.92	≤ 1.1	≤ 1.7
区熔锆锭 (以高纯二氧化锆为原料经氢还原、区熔提纯工艺生产)	≤ 7.8	≤ 9.5	≤ 18.9
锆单晶(以熔锆锭为原料经直拉法单晶生长工艺生产)	≤ 6.0	≤ 6.5	≤ 10.0
注：锆单位产品能耗限额均按该产品折算成对应的锆金属量进行计算。			

5 技术要求

5.1 硅多晶及锆单位产品能耗限定值

5.1.1 现有硅多晶生产企业的硅多晶单位产品综合能耗限定值，应符合表1中3级的规定。

5.1.2 现有锆生产企业的锆单位产品综合能耗限定值应符合表2中3级的规定。

5.2 硅多晶及锆单位产品能耗准入值

5.2.1 新建或改、扩建硅多晶生产企业的硅多晶单位产品综合能耗准入值，应符合表1中2级的规定。

5.2.2 新建或改、扩建锆生产企业的锆单位产品综合能耗准入值，应符合表2中2级的规定。

6 能耗统计范围和计算方法

6.1 统计范围

6.1.1 硅多晶

6.1.1.1 硅多晶的能耗，包括从原材料进入生产厂区开始直到合格产品进入成品仓库或出厂的整个过程，包括主要生产系统（三氯氢硅合成、（反应）精馏提纯、四氯化硅氢化、硅多晶制备、尾气回收、产品处理包装、硅芯/籽晶制备、氢气制备、“三废”处理等），辅助生产系统（纯水、循环水、脱盐水、氮气、压缩空气等制备及蒸汽锅炉、空调、化验、机修、库房、运输等）及附属生产系统（生产调度指挥系统、职工食堂、办公室等）消耗的能源量。

6.1.1.2 设备大修的能耗也应计算在内，且按检修后设备的运行周期逐月平均分摊。

6.1.1.3 硅多晶生产中存在工序缺省、工序产量不足而外购或产量富余而外售原材料、中间产品时，综合能耗值应增加或减少相应的能耗值。

6.1.1.4 应纳入硅多晶能源消耗统计范围的主要用能工艺（工序）如下：

（1）三氯氢硅合成工序

从氯化氢制备、氯化氢脱水、氯化氢预热，硅粉干燥、三氯氢硅合成、合成产物分离、尾气回收，到分离得到三氯氢硅 $\geq 99\%$ 的产品为止。包括从备料、配料、进料、合成、分离提纯、排渣、供排风、物料输送、收尘、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。按一吨三氯氢硅产品计算能源消耗，折硅多晶能源消耗时，按每吨硅多晶消耗的三氯氢硅数量确定。

（2）（反应）三氯氢硅精馏提纯工序

从粗三氯氢硅开始到产出精三氯氢硅或精硅烷为止。包括从备料、进料、（反应）、蒸发、冷凝、废液排放、排渣、制冷、供排风、物料输送、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

（3）四氯化硅氢化工序

从四氯化硅开始到产出三氯氢硅 $\geq 98\%$ 的产品为止。包括从备料、配料、进料、活化、氢化、氢气循环、尾气回收、氢化料分离提纯、废液处理、排渣、制硅冷、供排风、物料输送、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

（4）硅多晶制备工序

三氯氢硅法从精馏后合格的三氯氢硅开始到产出棒状多晶为止。包括从石墨件煅烧等备件处理、备料、进料、预热、还原、停炉取棒、供排风、物料输送、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

硅烷流化床法从精馏后合格的硅烷开始到产出颗粒硅多晶为止。包括从备料、进料、预热、分解、出料、尾气除尘、氢气加压、供排风、物料输送、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量（含本工序所用边界外的公辅设施能源消耗分摊）。

（5）尾气回收工序

从还原炉排出尾气开始到回收、分离得到合格氢气、氯化氢和氯硅烷为止。包括从尾气缓冲、进料、淋洗、混合气体压缩、氯硅烷分离、氯化氢吸收分离、制冷、氢气回收纯化、储存、供排风、物料输送、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

（6）硅多晶产品处理、包装工序

三氯氢硅法从棒状硅多晶开始到产出免清洗、洁净包装的硅多晶为止。包括从硅多晶破碎、酸腐蚀、纯水清洗、烘干、包装、废液中和排放、废气处理、制冷、供排风、物料输送、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

硅烷流化床法从颗粒硅出炉开始到产出洁净包装合格颗粒硅为止。包括从颗粒硅除尘、除氢、抛光、分级、包装、废气处理、制冷、供排风、物料输送、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

（7）硅芯/籽晶制备工序

三氯氢硅法从棒状硅多晶芯原料棒开始到产出洁净包装的硅芯为止。包括从硅芯原料棒加工、酸腐蚀、纯水清洗、烘干、硅芯原料棒包装、硅芯拉制（或切割）、硅芯磨削加工、酸腐蚀、纯水清

洗、烘干、包装等，或者硅芯熔融法、硅单晶棒拉制切割法等其它工艺过程中的物料输送、加工、供排风、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

硅烷法是从颗粒硅产品开始到产出符合硅籽晶为止。包括，直接将颗粒硅产品分选工序获得的一定粒径范围的硅颗粒作为硅籽晶，或采用研磨或破碎等工艺方法，将颗粒硅产品分选工序获得的较大粒径的硅颗粒进行处理后获得硅籽晶。硅籽晶采用储罐转运至颗粒硅生产装置使用。在此过程中的物料输送、加工、供排风、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

(8) 氢气制备工序

包括硅电解液制备、电解、氢气纯化等制备工艺，或其他氢气方法制备氢气的工艺过程中的物料输送、工艺、供排风、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

(9) “三废”处理工序

包括多晶生产过程中尾气收集、尾气淋洗（或燃烧、水解）、污水收集、污水处理、固渣处理等系统物料输送、供排风、供排水、辅助设备及照明等所有能源消耗量。

6.1.2 锗

6.1.2.1 锗单位产品的能耗，包括从原材料进入生产厂区开始直到合格产品进入成品仓库或出厂的整个过程，存在多个产品（工序）时，能耗需要进行累加计算。

6.1.2.2 高纯四氯化锗产品能耗的统计范围包括氯化蒸馏、精馏工序过程的能耗。具体包括生产过程的原料破碎、输送、盐酸浸出-氯化蒸馏、复蒸、萃取、精馏、二次精馏等工序环节的能耗。

6.1.2.3 高纯二氧化锗产品的能耗统计范围包括水解、烘干、焙烧工序过程的能耗，具体包括水解反应过程的搅拌、冷却系统，产品的过滤（或压滤）、洗涤、烘干、焙烧工序等环节的能耗。

6.1.2.4 区熔锗锭产品的能耗统计范围包括氢气还原、区熔提纯工艺过程的能耗，具体包括还原炉还原及铸锭系统、制氢及纯化系统、区熔炉区熔提纯系统、冷却水循环系统的能耗。

6.1.2.5 锗单晶能耗包括直拉法单晶生长工艺过程的能耗，具体包括单晶炉加热系统、单晶炉水冷却系统、冷却水循环系统、制氮及纯化系统、真空系统的能耗。

6.1.2.6 此外还包括产品检测和包装、机修车间、“三废”处理车间、办公区分摊的能耗，以及厂区内空气净化、通风、尾气吸收净化等系统分摊的能耗。

6.2 产品产量

6.2.1 产品产量以统计期内企业生产的合格产品的总产量计，单位为千克（kg）。

6.2.2 三氯氢硅法硅多晶产品质量应符合GB/T 25074的规定，硅烷流化床法硅多晶产品质量应符合GB/T 35307的规定。

6.2.3

6.2.4 高纯四氯化锗产品质量应符合YS/T 13的规定，高纯二氧化锗产品质量应符合GB/T 11069的规定，区熔锗锭产品质量应符合GB/T 11071的规定，红外锗单晶产品质量应符合GB/T 5238的规定。

6.3 计算方法

6.3.1 硅多晶综合能耗按公式（1）计算：

$$E = \sum_{i=1}^n (e_i \times \rho_i) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

E ——报告期内的产品综合能耗，单位为千克标准煤（kgce）；

n ——消耗的能源种类数；

e_i ——报告期内产品消耗的第*i*种能源量（含耗能工质消耗的能源量），单位为千克（kg）或立方米（m³）；

ρ_i ——第*i*种能源的折标准煤系数（见附录 A）。

6.3.2 硅多晶单位产品综合能耗按公式（2）计算：

$$E_g = \frac{E}{P} \dots\dots\dots (2)$$

E_g ——报告期内产品的单位产品综合能耗，单位为千克标准煤每千克（kgce/kg）；

P ——报告期内产品的合格产品产量，单位为千克（kg）。

6.3.3 硅多晶生产中存在工序缺省、工序产量不足而外购或产量富余而外售原材料、中间产品时，相应的能耗值按公式（3）计算：

$$E_x = E_m \times Q_m - E_s \times Q_s \dots\dots\dots (3)$$

式中：

E_x ——外购或外售原材料、中间产品产生的能耗值，单位为千克标准煤（kgce）；

E_m ——外购的原材料、中间产品对应的单位产品能耗基准，其中三氯氢硅、硅烷、氢气、硅芯的单位产品能耗基准分别为0.40kgce/kg、3.0kgce/kg、0.20kgce/Nm³、3.0kgce/kg；

Q_m ——外购的原材料、中间产品的数量，其中三氯氢硅、硅烷、氢气、硅芯的数量单位分别为kg、kg、Nm³、kg；

E_s ——外售的原材料、中间产品对应的实际单位产品能耗值，单位为千克标准煤每千克（kgce/kg）或千克标准煤每标方（kgce/Nm³）；

Q_s ——外售的原材料或中间产品的数量，其中三氯氢硅、硅烷、氢气、硅芯的数量单位分别为kg、kg、Nm³、kg。

6.3.4 硅多晶生产中存在工序缺省、工序产量不足而外购或产量富余而外售原材料、中间产品时，硅多晶单位产品综合能耗按公式（4）计算：

$$E_g = \frac{E + E_x}{P} \dots\dots\dots (4)$$

E_g ——报告期内产品的单位产品综合能耗，单位为千克标准煤每千克（kgce/kg）；

E_x ——报告期内外购或外售原材料、中间产品而产生的能耗值；

P ——报告期内产品的合格产品产量，单位为千克（kg）。

6.3.5 锗的综合能耗按公式（5）计算：

$$E = \sum_{i=1}^n (e_i \times \rho_i) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

E ——报告期内的锗产品综合能耗，单位为千克标准煤（kgce）；

n ——消耗的能源种类数；

e_i ——报告期内锗产品消耗的第*i*种能源量（含耗能工质消耗的能源量），单位为千克（kg）或立方米（m³）；

ρ_i ——第*i*种能源的折标准煤系数（见附录 A）。

6.3.6 锗的单位产品综合能耗按公式（6）计算：

$$E_g = \frac{E}{P} \dots\dots\dots (6)$$

E_g ——报告期内锗产品的单位产品综合能耗，单位为千克标准煤每千克（kgce/kg）；

P ——报告期内锆产品的合格产品产量（按产品含有的金属量计算，包括高纯四氯化锆、高纯二氧化锆、区熔锆锭、锆单晶），单位为千克（kg）。

附录 A

(资料性)

常用能源和耗能工质折标准煤系数（参考值）

A.1 常用能源折标准煤系数（参考值）见表 A.1。

表 A.1 常用能源折标准煤系数（参考值）

能源名称	平均低位发热量	折标准煤系数
原煤	20934 kJ/kg	0.7143 kgce/kg
洗精煤	26377 kJ/kg	0.900 0 kgce/kg
电力(当量值)	3600 kJ/kW·h	0.1229 kgce/(kW·h)
热力（蒸汽）	-	0.03412 kgce/MJ
天然气	32238 kJ/m ³ ~38979 kJ/m ³	1.1000 kgce/m ³ ~1.330 0 kgce/m ³
注 1：蒸汽折标准煤系数按热力当量值计。		
注 2：折标准煤系数如遇国家统计局部门规定发生变化，能耗等级指标则另行规定。		

A.2 常用耗能工质折标准煤系数（参考值）见表 A.2。

表 A.2 常用耗能工质折标准煤系数（参考值）

耗能工质名称	单位耗能工质耗能量	折标准煤系数
新水	7.54 MJ/t	0.2571 kgce/t
软化水	14.24 MJ/t	0.4857 kgce/t
压缩空气	1.17 MJ/m ³	0.0400 kgce/t
氮气（做主产品时）	19.68 MJ/m ³	0.6714 kgce/t
氮气（做副产品时）	11.72 MJ/m ³	0.4000 kgce/t

附录 B

(资料性)

相关工艺(工序)参考值

常用硅多晶企业用能工艺(工序)的参考值见表 B:

表 B 硅多晶企业常见工艺(工序)对应的单位产品能耗统计表及参考值

序号	工艺、工序	每公斤硅多晶综合能耗	
		三氯氢硅法 综合能耗 kgce/kg (参考值)	硅烷流化床法 综合能耗 kgce/kg (参考值)
1	三氯氢硅合成工序	0.03	3.5
2	(反应)精馏提纯工序	2.87	
3	四氯化硅氢化工序	1.20	
4	硅多晶制备工序	0.99	0.3
5	尾气回收工序	0.87	—
6	硅多晶产品处理、包装工序	0.05	0.02
7	硅芯/籽晶制备工序	0.13	—
8	公用工程包括:纯水系统、循环水、纯水、脱盐水、制氮、压缩空气、锅炉、空调、水源、中控及其他	0.62	0.6
9	氢气制备工序	0.1	—
10	“三废”处理工序	0.13	0.11
11	其他	0.06	0.02
12	硅多晶工艺能耗	7.05	4.55