

团 体 标 准

T/CASAS 022—2022

三相智能电表用氮化镓场效应晶体管通用 技术规范

Technical specification for gallium nitride field effect transistor
used in line terminal units and triphase electricity meters

版本：V01.00

2022-12-09 发布

2022-12-09 实施

第三代半导体产业技术创新战略联盟 发布

目 次

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 技术要求.....	2
4.1 材料要求.....	2
4.2 封装设计要求.....	2
4.3 绝对额定值要求.....	2
4.4 可靠性要求.....	3
4.5 阻燃特性.....	3
4.6 加工要求.....	3
5 试验方法.....	4
5.1 材料测试要求.....	4
5.2 封装爬电安全测试.....	4
5.3 绝对最大额定值测试.....	4
5.4 可靠性测试方法.....	4
5.5 器件阻燃特性测试方法.....	5
5.6 加工过程器件目检法.....	5
6 检测规则.....	5
6.1 检验职责.....	5
6.2 检测分类.....	5
6.3 批的组成.....	6
6.4 抽样.....	6
6.5 重新提交.....	6
6.6 筛选.....	6
6.7 质量一致性检验.....	6
7 包装、运输及储存.....	6
7.1 包装.....	6
7.2 运输.....	6
7.3 储存要求.....	3
参考文献.....	8

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由北京第三代半导体产业技术创新战略联盟标准化委员会（CASAS）制定发布，版权归 CASAS 所有，未经 CASAS 许可不得随意复制；其他机构采用本文件的技术内容制定标准需经 CASAS 允许；任何单位或个人引用本文件的内容需指明本文件的标准号。

本文件起草单位：深圳智芯微电子科技有限公司、深圳市国电科技通信有限公司、珠海镓未来科技有限公司、广州广电计量检测股份有限公司、工业和信息化部第五研究所、泰克科技（中国）有限公司、佛山市国星光电股份有限公司、东莞南方半导体科技有限公司、浙江大学、南方科技大学、厦门华联电子股份有限公司、北京第三代半导体产业技术创新战略联盟。

本标文件起草人：王祥、洪海敏、温雷、曾凡明、李汝冠、贺致远、孙川、马胜国、武占侠、顾才鑫、谢健兴、乔良、李胜、董泽政、汪青、郑智斌、高伟。

引 言

本文件使用范围为三相智能电表及小型线路终端用氮化镓场效应晶体管。

氮化镓具有宽禁带、高击穿电场、高热导率、高电子饱和速率及抗辐射能力等一系列优点，在电网中的三相智能电表及小型线路终端有广阔的应用前景。随着电网业务需求的不断扩展，新一代三相智能电表及小型线路终端的正在推广使用，且逐渐替代传统三相智能电表及小型线路终端，市场需求量巨大。相比传统三相智能电表及小型线路终端，新一代三相智能电表及小型线路终端内部的电源转换模组通过使用氮化镓材料开关器件替换传统的使用硅(Si)基材料开关器件，提高了电源转换效率，减少了电力消耗、降低了电源温度，获得了更好的稳定性，同时也在使用中节省更多的电力投入，在应用的场景中降低线损。

然而由于材料、工艺、器件结构等相对不成熟，氮化镓器件尚处于产业化推广阶段。对于进一步提高击穿电压、降低导通电阻、提高器件安全可靠性的，是将氮化镓功率器件应用于三相智能电表及小型线路终端的核心。目前，业内尚未针对在三相智能电表及小型线路终端使用氮化镓功率器件的标准。且因行业内各单位的测试仪器型号不同，抽样标准、测试条件、操作方法等条件也各有不同，使得产业内从业人员在使用氮化镓器件过程中，难以在较统一的条件下比较氮化镓性能。希望借此标准的制定，有效规范氮化镓器件在电网行业内的应用，推动氮化镓功率器件的产业化发展。

三相智能电表用氮化镓场效应晶体管通用技术规范

1 范围

本文件规定了应用于三相智能电表的氮化镓场效应晶体管（以下简称“GaN 晶体管”）的术语和定义、符号和缩略语、技术要求、试验方法、检测规则以及包装、运输及储存。

本文件适用于三相智能电表用关态源漏电压 V_{DS} 额定值为 900V、系统输出功率范围 20 W- 100 W、工作频率 40 kHz- 500 kHz 的氮化镓场效应晶体管。小型线路终端等应用领域电源模块中的晶体管可参考使用。

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 7251.1-2013 低压成套开关设备和控制设备 第 1 部分：总则

GB/T 26218.1-2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分：定义、信息和一般原则

SJ/T 11363-2006 电子信息产品中有毒有害物质的限量要求

T/CASAS 005-2022 基于硬开关电路的 GaN HEMT 电力电子器件动态电阻测试方法

IEC 60749-31:2002 半导体器件 机械和气候测试方法 第 31 部分：塑料封装器件的易燃性（内部诱导）（Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods - Part 31: Flammability of plastic-encapsulated devices (internally induced)）

JESD22A-101D 稳态温湿度偏压测试（Steady state temperature humidity bias life test）

JESD22-A104F 温度循环测试（Temperature cycling）

JESD22-A108F 温度、偏压及操作寿命（Temperature, bias and operating life）

JESD22-A110E 温度及湿度应力加速老化测试（Highly accelerated temperature and humidity stress test (HAST)）

JESD22-A114F 静电放电试验（人体模式）（Electrostatic discharge sensitivity testing-human body model (HBM)）

JESD22-C101F 静电放电试验（器件模式）（Field-induced charged-device model test method electrostatic-discharge-withstand thresholds microelectronic components）

JESD51-1 IC 热测试方法-电气测试方法（Integrated circuits thermal measurement method-electrical test method）

MIL-STD-750-1 1037.3 间歇运行寿命（Intermittent operation life）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

场效应晶体管 field effect transistor

FET

在晶体管的栅极和源极之间施加规定的偏压，能够通过偏压产生的电场来控制沟道中多数载流子运动，进而控制器件工作状态的半导体器件。

3.2

高电子迁移率晶体管 high electron mobility transistor

HEMT

利用氮化物异质结或调制掺杂产生的高迁移率二维电子气特性的场效应晶体管。

注：其特征是异质结，其中宽禁带材料是掺杂的，载流子扩散到不掺杂的窄禁带层，在不掺杂的异质结界面形成沟道，使得位于不掺杂的异质结界面沟道中载流子与掺杂区分离，由于没有杂质散射，可得到很高的迁移率。

[来源：T/CASAS 002-2021，3.2.2.2.1.1]

3.3

级联型GaN场效应晶体管 cascode GaN field effect transistor

采用硅MOSFET与耗尽型氮化镓HEMT级联而成的复合器件。

3.4

动态导通电阻 dynamic on-resistance of DUT in fast switching conditions

$R_{DS(dyn)}$

被测器件在快速开关状况中的动态导通电阻值。

[来源：T/CASAS 005-2022，3.2]

4 技术要求

4.1 材料要求

禁限用材料应符合SJ/T 11363-2006的规定。

4.2 封装设计要求

GaN晶体管的设计应遵从高耐压、高可靠性的特点，采用适合高压器件的封装形式，包括但不限于TO插件型封装和D2PAK/DFN贴片型封装，以满足高压器件在安全规定方面要求。

4.3 绝对额定值要求

GaN晶体管的绝对额定值应满足表1要求。

表 1 器件绝对额定值要求

参数	符号	数值		单位
		最低	最高	
存储温度	T_S	-55	150	°C
工作环境温度	T_a	-40	70	°C
结温	T_J	-	150	°C
耐焊温度	T_{LS}	-	260	°C
阈值电压	V_{TH}	1.8	-	V
栅-源最大电压	V_{GSS}	-18	18	V
动态导通电阻变化率 ^a	-	-	20%	-
关态源漏最大工作耐压	V_{DSS}	900	-	V
连续源漏电流	I_{DS}	3	-	A
脉冲源漏电流 ^{b,d}	$I_{DS(Pulsed)}$	5	-	A
器件上升时间	t_R	-	10	ns

^a 动态导通电阻测试时取应用电压或额定耐压值的 80%;

^b duty cycle<1%, pulse width<10us。

4.4 可靠性要求

GaN晶体管的可靠性应满足表2的要求。

表 2 可靠性要求

老化项目	符号	老化条件	正常实验时间
强加速稳态湿热试验	HAST	77 颗, 环温 130 摄氏度/85%湿度, V_{GS} 典型值 100 V	≥96 小时
间歇工作寿命试验	IOL	77 颗, $\Delta T_J \geq 100$ °C, 3 分钟 ≤ ON+OFF ≤ 5 分钟	7 500 次
高温栅偏	HTGB	77 颗, 环温 150 °C, $V_{GS}=100\%$ 额定值	≥1 000 小时
高温反偏	HTRB	77 颗, 环温 150 °C, $V_{GS}=100\%$ 额定值	≥1 000 小时
高温高湿反偏	H3TRB	77 颗, 环温 85 °C, 湿度为 85%, $V_{GS} \geq 100$ V	≥1 000 小时
温度循环	TC	77 颗, 环温 -55 至 150 °C, 温度上升或下降速率 15 °C/min ~ 20 °C/min, 保温 15 min ~ 30 min	1 000 次
接地故障测试	-	温度为 25 °C, 器件关断, $V_{GS} \geq 900$ V	≥4 小时
静电放电试验 (人体模式)	HBM	3 颗, Class1A	/
静电放电试验 (器件模式)	CDM	3 颗, ClassC3	/

4.5 阻燃特性

器件外壳燃烧度不应大于 100 mm/min, 测试方法参考 IEC 60749-31:2002 塑封器件的易燃性测试。

4.6 加工要求

器件应采用能保证质量一致性的方法进行加工，不应有影响寿命、使用性或外观的缺陷。管脚边缘无锐边、毛刺、损伤和污染物质，外表面应无影响器件性能的切口、凹痕、裂痕和磨损点或毛口。

5 试验方法

5.1 材料测试要求

禁限用材料测试按SJ/T 11363-2006的规定进行测试。

5.2 封装爬电安全测试

器件封装爬电安全测试按GB/T 7251.1-2013/IEC 61439-1:2011及GB/T 26218.1-2010进行测试。

5.3 绝对最大额定值测试

GaN晶体管绝对最大额定值测试方法按照表3所示。

表 3 GaN 晶体管绝对最大额定值测试方法

参数	符号	测试方法
存储温度	T_S	参考 IEC 60749-42-2014
工作环境温度	T_a	JESD51-1
结温	T_J	JESD51-1
焊接温度	-	参考 IEC 60749-15-2010
阈值电压	V_{TH}	参考 IEC 60747-8-4: 2004
栅极耐压	V_{GSS}	参考 IEC 60747-8-4: 2004
动态导通电阻变化率	-	参考 T/CASAS 005-2022
关态源漏最大工作耐压	V_{DSS}	参考 IEC 60747-8-4: 2004
连续源漏电流	I_{DS}	参考 IEC 60747-8-4: 2004
脉冲源漏电流	$I_{DS(Pulsed)}$	参考 IEC 60747-8-4: 2004
器件上升时间	t_R	参考 IEC 60747-8-4: 2004

5.4 可靠性测试方法

GaN晶体管的可靠性测试方法按照表4要求。

表 4 器件可靠性测试方法

老化项目	符号	测试方法
强加速稳态湿热试验	HAST	JESD22-A110E: 温度及湿度应力加速老化测试
间歇工作寿命试验	IOL	MIL-STD-750-1AW/CHANGE3-2019 1037.3
高温栅偏	HTGB	JESD22-A108F

表4 器件可靠性测试方法（续）

测试项目	符号	测试方法
高温反偏	HTRB	JESD22-A108F
高温高湿反偏	H3TRB	JESD22A-101D
温度循环	TC	JESD22-A104F
器件抗接地故障耐压测试	-	在接地故障及相对地产生10%过电压的情况下，没有接地的两相对地电压将会达到1.9倍的标称电压（1200V），在此情况下持续4h，器件不应出现损坏。
静电放电试验（人体模式）	HBM	JESD22-A114F
静电放电试验（器件模式）	CDM	JESD22-C101F

5.5 器件阻燃特性测试方法

器件外壳燃烧度不应大于100 mm/min，测试方法按照IEC 60749-31:2002。

5.6 加工过程器件目检法

对加工过程的器件进行目检测试，测试方法可参照IEC 60748-11-1、IEC 60749-3。

6 检测规则

6.1 检验职责

由鉴定机构批准的试验室或承制方的检验、试验部门负责执行本规范规定的全部检验。

6.2 检测分类

产品检验分为型式检验和出厂检验。

6.2.1 型式检验

型式检验要求满足技术规范全部要求，是新产品鉴定中必不可少的一个组成部分，通过后才能投入生产，型式检验应满足如下要求：

- a) 新产品或者产品转厂生产的试制定型鉴定；
- b) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 长期停产后恢复生产时；
- d) 正常生产，按周期进行型式检验；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时；
- g) 用户提出进行型式检验的要求时。

6.2.2 出厂检验

- a) 检测项目和判定规则由制造商在本规范规定基础上制定；

b) 由制造商质检部门对每颗器件进行检验，合格后方可提交验收出货。

6.3 批的组成

一个检验批，根据测试项目要求，提供77颗或者3颗由同时提交检验的一个或多个晶圆批中同一型号的器件组成。

6.4 抽样

鉴定检验和质量一致性检验的抽样应按本规范和相关详细规范的规定进行。

6.5 重新提交

当提交鉴定检验不符合要求时，应重新进行鉴定检验。当质量一致性检验的任一检验批不符合要求时，应进行失效分析并确定失效机理。如确认该失效是可以通过对整批晶圆的器件重新筛选而有效剔除的缺陷；或者该失效并不反映产品具有基本设计或基本生产工艺问题的缺陷，则允许对该分组采用加严检验（按双倍样品量及合格判定数为零的方案）重新提交一次。重新提交的批不得与其他的批相混。如果失效分析表明失效是由于基本工艺程序不良、基本设计缺陷或是无法通过筛选剔除的缺陷，则该批不得重新提交。

6.6 筛选

在提交鉴定检验和质量一致性检验前，检验批的全部器件应按表1绝对最大额定值中有关芯片的电学性能的规定进行筛选，对不符合要求的芯片进行标识，并进行剔除，剔除的芯片不能作为合格产品交货。

6.7 质量一致性检验

6.7.1 通则

每一检验批的器件在交付前应按本规范的规定进行质量一致性检验。

6.7.2 不合格判定

检验中出现任一检验项目不合格时，判该产品为不合格，应重新进行提交。

7 包装、运输及储存

7.1 包装

产品包装应符合以下要求：

- a) 器件应按合同要求包装，使用防静电的包装材料；
- b) 标签内容应准确，参数等级应符合产品规格书要求；
- c) 标签粘贴位置应合适，标签应完整、洁净，标签字迹应清晰，不得有涂抹、污染的现象。

7.2 运输

器件运输过程中应避免受到高温、潮湿、机械损伤、静电放电和沾污。

7.3 储存要求

器件应储存在10℃~30℃，相对湿度不大于30%的充氮干燥箱或干燥塔中。满足以上条件的芯片有效贮存期为12个月。

全国团体标准信息平台

参考文献

- [1] GB/T 4586-1994 半导体器件 分立器件 第8部分：场效应晶体管
 - [2] GB/T 12300-1990 功率晶体管安全工作区测试方法
 - [3] T/CASAS 002-2021 宽禁带半导体术语
 - [4] IEC 60747-8-4-2010 Semiconductor devices - Discrete devices - Part 8: Field-effect transistors
 - [5] IEC 60748-11-1 Semiconductor devices - Integrated circuits - Part 11- Section 1: Internal Visual examination for Semiconductor Integrated circuits excluding hybrid circuits
 - [6] IEC 60749-3 Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods - Part 3: External visual examination
 - [7] IEC 60749-15:2010 Semiconductor devices - Discrete devices - Part 15: Isolated power semiconductor devices
 - [8] IEC 60749-42-2014 Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods - Part 42: Temperature and humidity storage
 - [9] JEDEC JESD 22 封装器件可靠性试验方法
 - [10] JESD22-B106 Resistance to solder heat
-

全国团体标准信息平台