



应用笔记 Application Note

氮化镓产品应用系列

GaN 晶体管

产品手册参数详解



目 录

1 介绍	3
2 命名方法	3
3 管脚定义	3
4 晶体管结构	4
5 GaN 晶体管极限参数.....	4
5.1 V_{DSS} : 最大漏源电压.....	4
5.2 V_{TDSS} : 最大漏源瞬态电压	4
5.3 V_{GSS} : 最大栅源电压.....	4
5.4 P_D : 总功耗.....	5
5.5 I_D : 漏极连续电流	5
5.6 I_{DM} : 漏极脉冲电流.....	5
6.GaN 晶体管静态特性	6
6.1 $V_{GS(th)}$: 阈值电压.....	6
6.2 $R_{DS(on)}$: 导通电阻.....	6
6.3 I_{DSS} : 漏源泄漏电流.....	6
6.4 I_{GSS} : 栅源漏电流.....	6
7 GaN 晶体管动态特性.....	6
7.1 Q_{GS} : 栅源电荷	6
7.2 Q_{GD} : 栅漏电荷.....	6
7.3 Q_G : 栅极电荷	7
7.4 C_{ISS} : 输入电容.....	7
7.5 C_{OSS} : 输出电容	7
7.6 C_{RSS} : 反向传输电容	8
7.7 $C_{O(er)}$: 与能量相关的等效输出电容	8
7.8 $C_{O(tr)}$: 与时间相关的输出电容.....	9
7.9 Q_{OSS} 、 E_{OSS}	9
7.10 GaN 开关时间特性	9
7.11 V_{SD} : 反向导通压降.....	10
7.12 t_{RR} : 反向恢复时间.....	10
7.13 Q_{RR} : 反向恢复电荷	10

1 介绍

润新微电子（大连）有限公司生产的氮化镓功率晶体管具有开关速度快，损耗低等优点。为方便工程师熟悉和使用 GaN 功率晶体管，本手册以 RX65T300HS2A 为例，对产品手册中关键参数做详细说明。

2 命名方法

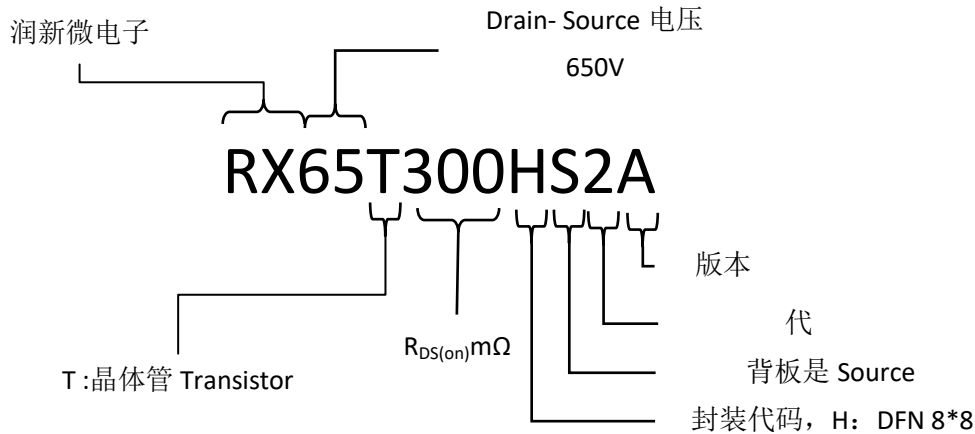


图1 GaN 晶体管的命名方法

3 管脚定义

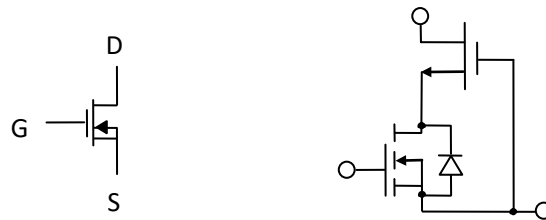


图2 GaN 晶体管原理图符号和结构图 (1) 原理图符号 (2) 结构图

表1 管脚定义

管脚号	标号	描述	外型	结构图
1	G	栅极 (Gate)		
2	S	源极 (Source)		
3	D	漏极 (Drain)		

4 晶体管结构

润新氮化镓功率晶体管由一个常闭低压 Si MOS 晶体管和一个常通高压 GaN HEMT 晶体管级联构成，结构如图2所示。

5 GaN 晶体管极限参数

GaN 晶体管技术手册中的极限参数提供了最大的工作条件。工作条件是根据 IEC 60134 制定。超出极限参数值有损坏晶体管或晶体管寿命缩短的风险，因此，建议不要超出极限值。

RX65T300HS2A 的极限参数如表2所示。

表2 RX65T300HS2A 极限参数

Symbol	Parameter	Limit Value	Unit
I_D	Continuous drain current @ $T_C=25^{\circ}\text{C}$	9	A
	Continuous drain current @ $T_C=100^{\circ}\text{C}$	6	A
I_{DM}	Pulsed drain current @ $T_C=25^{\circ}\text{C}$ (pulse width: 10us)	31	A
	Pulsed drain current @ $T_C=150^{\circ}\text{C}$ (pulse width: 10us)	23	A
V_{DSS}	Drain to source voltage ($T_J = -55^{\circ}\text{C}$ to 150°C)	650	V
V_{TDSS}	Transient drain to source voltage ^a	800	V
V_{GSS}	Gate to source voltage	± 20	V
P_D	Maximum power dissipation @ $T_C=25^{\circ}\text{C}$	38	W
T_C	Operating temperature	Case	-55 to 150
T_J		Junction	-55 to 150
T_S	Storage temperature	-55 to 150	$^{\circ}\text{C}$
T_{CSOLD}	Soldering peak temperature	260	$^{\circ}\text{C}$

5.1 V_{DSS} : 最大漏源电压

V_{DSS}	Drain to source voltage ($T_J = -55^{\circ}\text{C}$ to 150°C)	650	V
-----------	--	-----	---

最大漏源电压 (V_{DSS}) 指在栅源短接的情况下，漏极 (D) 与源极 (S) 之间所能施加的最大电压。

5.2 V_{TDSS} : 最大漏源瞬态电压

V_{TDSS}	Transient drain to source voltage ^a	800	V
------------	--	-----	---

最大漏源瞬态电压 (V_{TDSS}) 是晶体管漏源间最大瞬态电压。

5.3 V_{GSS} : 最大栅源电压

V_{GS}	Gate to source voltage	± 20	V
----------	------------------------	----------	---

最大栅源电压指栅极（G）与源极（S）之间所能施加的最大电压值。设定该额定电压的主要目的是防止电压过高导致栅氧化层损伤。

5.4 P_D : 总功耗

P_D	Maximum power dissipation @ $T_c=25^\circ C$	38	W
-------	--	----	---

总功耗（ P_D ）标定了晶体管可以消散的最大功耗。实际应用时，晶体管的功耗不允许超过此数值，否则，晶体管会烧毁。

5.5 I_D : 漏极连续电流

I_D	Continuous drain current @ $T_c=25^\circ C$	9	A
	Continuous drain current @ $T_c=100^\circ C$	6	A

漏极连续电流（ I_D ）是漏极允许通过的最大直流电流。此值受到导通阻抗、封装和内部连线等条件的制约。 I_D 中并不包括开关损耗，并且实际使用时保持晶体管表面在 $25^\circ C$ 也很难。因此，硬开关应用中实际开关电流通常小于 $I_D@25^\circ C$ 的一半，通常在 $1/3\sim 1/4$ 。

5.6 I_{DM} : 漏极脉冲电流

I_{DM}	Pulsed drain current @ $T_c=25^\circ C$ (pulse width: 10us)	31	A
	Pulsed drain current @ $T_c=150^\circ C$ (pulse width: 10us)	23	A

漏极脉冲电流（ I_{DM} ）是漏极允许通过的最大脉冲电流值。此值受到脉冲宽度和占空比等的制约。脉冲电流要远高于连续的直流电流。定义 I_{DM} 的目的在于：限定欧姆区。对于一定的栅源电压，晶体管导通后，存在最大漏极电流。如图3所示，对于给定的一个栅源电压，如果工作点位于线性区域后，漏极电流的增大会提高漏-源电压，由此增大导通损耗。长时间工作在大功率之下，将会导致晶体管失效。因此，在典型栅极驱动电压下，需要将电流设在 I_{DM} 区域之下。区域的分界点在 V_{GS} 和曲线交点。

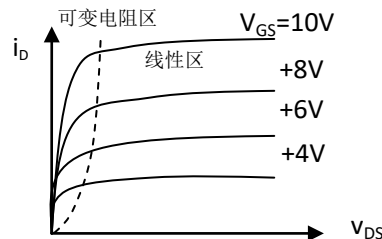


图3 GaN 晶体管输出特性曲线6 GaN 晶体管静态特性

6. GaN 晶体管静态特性

6.1 $V_{GS(th)}$: 阈值电压

$V_{GS(th)}$	1.2	1.6	2.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=500\mu A$
--------------	-----	-----	-----	---	-------------------------------

阈值电压 ($V_{GS(th)}$) 是施加到栅极和源极使晶体管传导电流 (漏极开始有电流) 所需的电压。 $V_{GS(th)}$ 是负温度系数, 当温度上升时, $V_{GS(th)}$ 会降低。

6.2 $R_{DS(on)}$: 导通电阻

$R_{DS(on)}$ ^c	190	240	312	m Ω	$V_{GS}=8V, I_D=4A, T_J=25^\circ C$
	-	500	-		$V_{GS}=8V, I_D=4A, T_J=150^\circ C$

导通电阻 ($R_{DS(on)}$) 晶体管在特定的漏电流正向导通时, 漏源之间的电阻。

6.3 I_{DSS} : 漏源泄漏电流

I_{DSS}	-	8	20	μA	$V_{DS}=700V, V_{GS}=0V, T_J=25^\circ C$
	-	50	-	μA	$V_{DS}=700V, V_{GS}=0V, T_J=150^\circ C$

漏源泄漏电流 (I_{DSS}) 指在栅-源电压为零时, 在特定漏源电压下的漏-源之间的泄漏电流。漏源泄漏电流 (I_{DSS}) 随温度发生变化。

6.4 I_{GSS} : 栅源漏电流

I_{GSS}	-	-	150	nA	$V_{GS}=20V$
	-	-	-150	nA	$V_{GS}=-20V$

I_{GSS} 指在特定的栅源电压下, 流过栅极的漏电流。

7 GaN 晶体管动态特性

7.1 Q_G : 栅源电荷

Q_G	-	21.5	-	nC	$V_{DS}=400V, V_{GS}=0-12V, I_D=5.5A$
Q_{GS}	-	3	-		
Q_{GD}	-	3.5	-		

栅源电荷 (Q_{GS}) 指将栅极电压从零增加到台阶电压所需的电荷。

7.2 Q_{GD} : 栅漏电荷

栅漏电荷 (Q_{GD}) 指晶体管进入线性区时, 整流晶体管电压所需的电荷, 即从第一个拐点到第二个拐点之间的部分, 也叫米勒电荷。

7.3 Q_G: 栅极电荷

栅极电荷 (Q_G) 指将晶体管从零驱动至额定栅极电压 (包括) 所需的总栅极电荷。

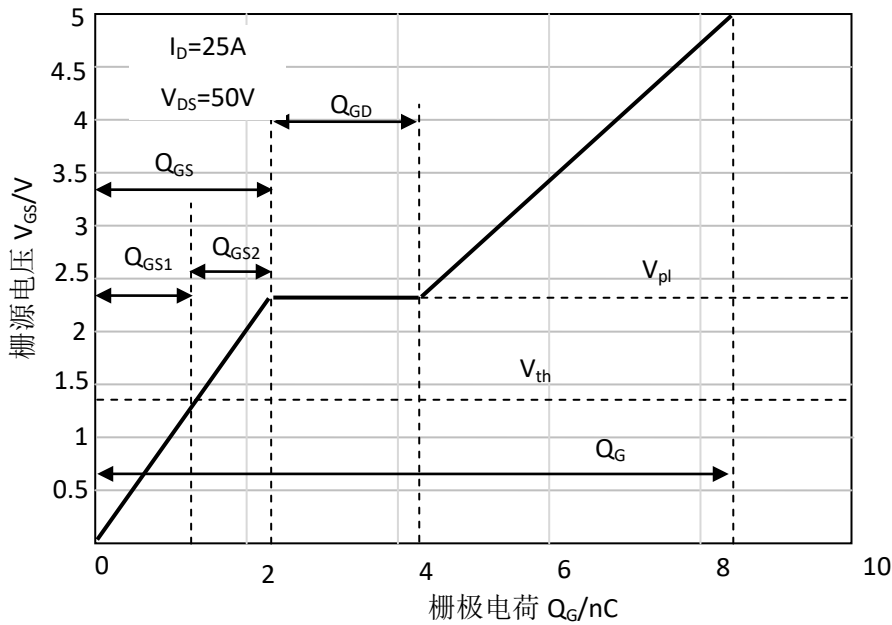


图5 不同栅极电荷情况下的 GaN 晶体管栅极电荷曲线

漏极电流和漏源电压的变化对栅电荷影响比较小，而且栅电荷不随温度的变化。在图5中平台电压 $V_{GS(pl)}$ 随电流? 增大增加的比较小 (随着电流的降低也会降低)。平台电压也正比于阈值电压，所以不同的阈值电压将会产生不同的平台电压。

7.4 C_{ISS}: 输入电容

C _{ISS}	-	500	-	pF	V _{GS} =0V, V _{DS} =650V, f=1MHz
C _{OSS}	-	18	-	pF	
C _{RSS}	-	2	-	pF	

将漏源短接，用交流信号测得的栅极和源极之间的电容就是 C_{ISS}。C_{ISS} 由栅漏电容 (C_{GD}) 与栅源电容 (C_{GS}) 并联而成， $C_{ISS} = C_{GD} + C_{GS}$ 。当输入电容充电至阈值电压晶体管才能开启；放电到一定值时，晶体管才可以关闭。因此驱动电路和 C_{ISS} 对晶体管的开启和关断延时有着直接的影响。

7.5 C_{OSS}: 输出电容

将栅源短接，用交流信号测得的漏极和源极之间的电容就是输出电容。C_{OSS} 由漏源电容

(C_{DS}) 和栅漏电容 (C_{GD}) 并联而成, 即 $C_{OSS}=C_{DS} + C_{GD}$ 。对于软开关的应用, C_{OSS} 非常重要, 因为它参与电路的谐振。

7.6 C_{RSS} : 反向传输电容

在源极接地的情况下, 测得的漏极和栅极之间的电容为反向传输电容 (C_{RSS})。反向输出电容 (C_{RSS}) 等同于栅漏电容 (C_{GD}), 即 $C_{RSS}=C_{GD}$ 。反向传输电容也常叫做米勒电容, 对于开关的上升和下降时间来说, 反向传输电容是其中一个重要的参数。反向传输电容还影响关断延时时间。结电容随着漏源电压的增加而减小, 尤其是输出电容 (C_{OSS}) 和反向输出电容 (C_{RSS})。

7.7 $C_{O(er)}$: 与能量相关的等效输出电容

$C_{O(er)}$	-	25	-	pF	$V_{GS}=0V, V_{DS}=0 - 650V$
$C_{O(tr)}$	-	45	-	pF	

等效输出电容 ($C_{O(er)}$) 与漏极电压相关。当漏极电压从0V 上升到650V 时, 晶体管截止, 根据关断损耗的定义, 有如下公式:

$$E_{OSS} = \int_0^{Q_{OSS}} V_{DS} \cdot dq = \int_0^{V_{DS}} V_{DS} \cdot C_{OSS}(V_{DS}) \cdot dV_{DS}$$

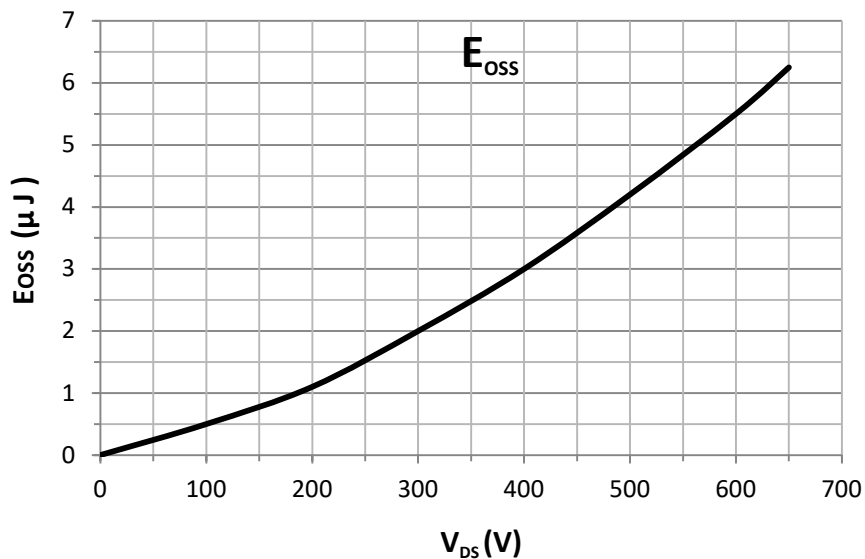


图6 E_{OSS} 与 V_{DS} 关系曲线

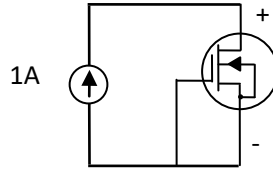
根据上图曲线, 对于一个特定的 V_{DS} , 有唯一的 $C_{O(er)}$ 满足下面的方程:

$$E_{OSS} = 1/2 \cdot C_{O(er)} \cdot V_{DS}^2$$

根据上述两个公式可由 E_{OSS} 反推计算出 $C_{O(er)}$ 。

7.8 C_{o(tr)}: 与时间相关的输出电容

C_{o(tr)}是 V_{DS} 从0V 上升到650V 过程中，相同充电时间条件下的等效电容。这也可以描述为以一恒定的电流充电的、与时间相关的等效输出电容。



$$Q_{OSS} = \int_0^{Q_{OSS}} dq = \int_0^V C(V_{DS}) \cdot dV_{DS}$$

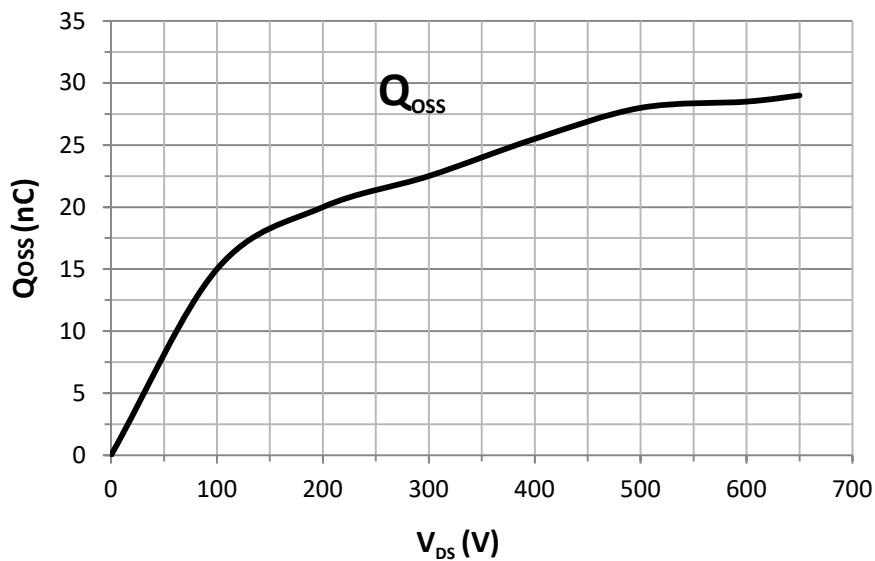


图7 Q_{OSS} 与 V_{DS} 关系曲线

对于一个确定的 V_{DS}，有唯一确定的 C_{o(tr)} 满足下面的方程：

$$V_{DS} = \frac{Q_{OSS}}{C_{o(tr)}}$$

根据上述两个公式可由 Q_{OSS} 反推计算出 C_{o(tr)}。

7.9 Q_{oss}、E_{oss}

相较于使用 C_{o(tr)}和 C_{o(er)}，数据手册中的 Q_{oss} 和 E_{oss} 图表更容易应用，可以直接从图6和图7表中读出相应的 V_{DS} 各自对应 E_{oss} 和 Q_{oss}。

7.10 GaN 开关时间特性

$t_{D(on)}$	-	20	-	ns	$V_{DS}=400V, V_{GS}=0 - 12V, I_D=3A, R_G=30\Omega$
t_R	-	7	-		
$t_{D(off)}$	-	80	-		
t_F	-	6	-		

$t_{D(on)}$: 导通延时时间, 是从当栅源电压上升到10%栅驱动电压时到漏源电压降到到规定电压的10%所经历的时间。

t_R : 上升时间, 指漏源电压从90%降到10%所经历的时间。

$t_{D(off)}$: 关断延时时间, 是从当栅-源电压下降到90%栅驱动电压时到漏源电压上升至10%规定值时所经历的时间。

t_F : 下降时间, 是漏源电压从10%上升到90%所经历的时间。

7.11 V_{SD} : 反向导通压降

V_{SD}	-	1.2	-	V	$V_{GS}=0V, I_S=2A, T_J=25^\circ C$
	-	1.7	-		$V_{GS}=0V, I_S=5A, T_J=25^\circ C$
	-	2	-		$V_{GS}=0V, I_S=5A, T_J=150^\circ C$

反向导通压降 (V_{SD}) 指栅源极短接, 电流反向导通时, 源-漏极之间的压降。反向导通压降 (V_{SD}) 由低压 Si MOS 的体二极管压降和 GaN HEMT 沟道压降组成。

7.12 t_{RR} : 反向恢复时间

t_{RR}	-	12	-	ns	$I_S=3A, V_{GS}=0V, d_i/d_t=1000A/us, V_{DD}=400V$
Q_{RR}	-	39	-	nC	

反向恢复时间 (t_{RR}) 指当晶体管栅源短接且反向导通时, 晶体管漏源电压突然反转到指定值, 从晶体管体二极管的正向电流降到零开始到反向电流降到零的时间。

7.13 Q_{RR} : 反向恢复电荷

反向恢复电荷 (Q_{RR}) 指将晶体管栅源短接, 当体二极管流过一定正向电流时电压突然反转, 从正向电流降到零开始到反向电流完全恢复到零所需的电荷。