

# AlGaIn/GaN HEMT 器件直流扫描电流崩塌机理 及其物理模型<sup>\*</sup>

郝 跃 韩新伟 张进城 张金凤

(西安电子科技大学微电子学院,西安 710071)

(宽禁带半导体材料与器件教育部重点实验室,西安 710071)

(2005 年 12 月 5 日收到,2006 年 2 月 17 日收到修改稿)

通过对 AlGaIn/GaN HEMT 器件直流扫描情况下电流崩塌现象和机理的分析,建立了一个 AlGaIn/GaN HEMT 器件的直流扫描电流崩塌模型.该模型从 AlGaIn/GaN 器件工作机理出发,综合考虑了器件结构、半导体表面与界面,以及量子阱特殊结构对电流崩塌的影响.实验反复证明了该模型与实验结果有良好的一致性.

关键词:AlGaIn/GaN HEMT,直流扫描,电流崩塌,模型

PACC:7280E,7360L,7220J

## 1. 引 言

AlGaIn/GaN HEMT 器件由于具有禁带宽度大(3.4—6.2eV)、电子饱和速度高( $2.8 \times 10^7$  cm/s)和击穿场强大( $\geq 3$  MV/cm)等优点,非常适合于高频、大功率与高温应用<sup>[1]</sup>.特别在微波大功率应用方面,已经得到广泛的关注.Wu 等人利用 AlGaIn/GaN 异质结构材料制造出 X 波段连续波功率密度达到 30W/mm 的 AlGaIn/GaN HEMT 器件<sup>[2]</sup>,这高出 GaAs 微波功率器件功率密度 30 倍以上.AlGaIn/GaN HEMT 从 S 波段到  $K\alpha$  波段均表现出超强的微波功率特性.

然而,AlGaIn/GaN HEMT 器件的可靠性问题,特别是电流崩塌问题严重制约了 AlGaIn/GaN HEMT 器件的应用.已有许多人就电流崩塌问题进行了研究与分析<sup>[3-4]</sup>,然而到目前为止,AlGaIn/GaN HEMT 器件的电流崩塌问题在理论上还没有得到圆满解释,与电流崩塌相关的许多问题还有待进一步研究与解决.

本文以实验与理论相结合,分析了 AlGaIn/GaN HEMT 器件的直流扫描电流崩塌问题.基于对电流崩塌机理的分析,建立了一个 AlGaIn/GaN HEMT 器件直流扫描电流崩塌模型,模型与实验结果具有很

好的一致性.

## 2. 器件制造与直流扫描电流崩塌现象

本文实验选用的 AlGaIn/GaN HEMT 器件是通过低压 MOCVD 设备在(0001)面蓝宝石衬底上异质外延生长 AlGaIn/GaN 异质结构材料制造而成. AlGaIn/GaN 异质结构材料层结构(从衬底向表面)如下:50nm GaN 成核层,1 $\mu$ m 未掺杂 GaN 外延层,30nm 未掺杂 AlGaIn 层(AI 组分 27%).室温下该 AlGaIn/GaN 异质结构材料二维电子气(2DEG)面密度和迁移率分别为  $1.1 \times 10^{13}$  cm<sup>-2</sup> 和 949cm<sup>2</sup>/Vs,77K 下 2DEG 面密度和迁移率分别为  $1.08 \times 10^{13}$  cm<sup>-2</sup> 和 2577cm<sup>2</sup>/Vs,室温下该材料的方块电阻为 600  $\Omega/\square$ . HEMT 器件制造工艺由台面刻蚀、欧姆接触和肖特基接触三步组成.欧姆接触金属为 Ti/Al/Ti/Au (30nm/100nm/50nm/500nm),900 $^{\circ}$ C 氮气气氛退火 30s.肖特基接触金属为 Pt/Au(30nm/300nm).台面隔离刻蚀采用 Cl 基 RIE 刻蚀.测试的 HEMT 器件采用对称栅结构,漏源间距 4 $\mu$ m,栅长 2 $\mu$ m,栅宽 20 $\mu$ m.

I-V 特性的测试仪器为 HP4156B 半导体参数分析仪和 Signatone S1160 探针台.为了屏蔽环境光线的影响,测试中探针台均置于屏蔽暗箱中.

<sup>\*</sup>国家重点基础研究发展计划(973 计划)批准号:2002CB3119,513270407),国防科技重点实验室基金(批准号:51433040105DZ0102,51432030204DZ0101)资助的课题.

实验中,我们测试了 AlGaIn/GaN HEMT 器件的输出特性、转移特性、连续重复扫描、连续往返扫描等各种情况下的  $I$ - $V$  特性曲线. 每组测试都进行了

大量重复实验,以确保结果的可重复性. 图 1 显示了 AlGaIn/GaN HEMT 器件连续重复扫描的输出特性曲线与转移特性曲线.

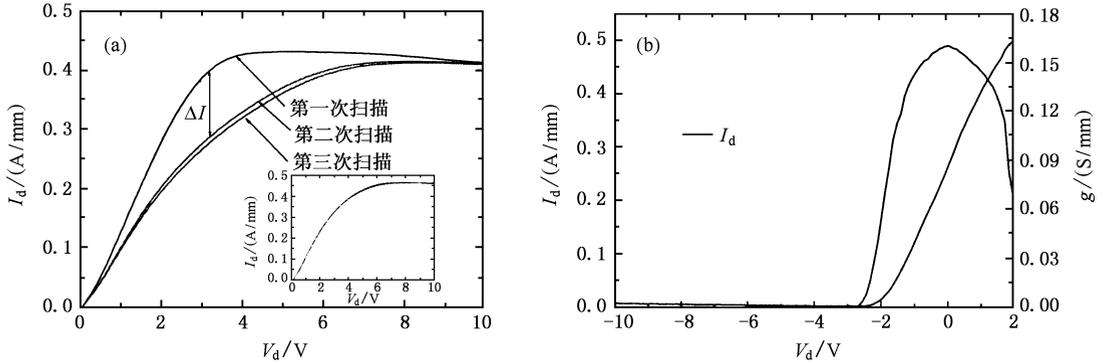


图 1 连续重复直流扫描的输出特性曲线(a)与转移特性曲线(b)

图 1(a)为三次连续重复直流扫描的输出特性曲线. 直流扫描条件为  $V_g = 1\text{V}$  固定,  $V_d$  从  $0\text{V}$  到  $10\text{V}$  扫描, 步长  $0.1\text{V}$ . 扫描点数为 101, 相邻两扫描点间的时间间隔  $t_1 = 0.05\text{s}$ , 两条曲线间测试停顿时间  $t_2 = 2\text{s}$ . 图 1(a)插图为两次连续往返直流扫描的输出特性曲线, 扫描条件为:  $V_g$  为  $1\text{V}$  固定,  $V_d$  从  $10\text{V}$  扫描到  $0\text{V}$ , 紧接着从  $0\text{V}$  扫描到  $10\text{V}$ , 扫描点数为 201, 相邻两点间的时间间隔为  $0.01\text{s}$ . 图 1(b)为转移特性曲线. 扫描条件为:  $V_d$  为  $8\text{V}$  固定,  $V_g$  从  $-10\text{V}$  扫描到  $2\text{V}$ , 扫描点数为 101, 相邻两点间的时间间隔  $t_1 = 0.01\text{s}$ . 由图可知该器件的阈值电压  $V_{th} = -2\text{V}$ , 最大饱和电流  $I_{ss} = 500\text{mA/mm}$ , 最大跨导  $g_m = 160\text{mS/mm}$ .

从图 1(a)实验曲线可以看出, 两次连续重复扫描的曲线并不重合. 第二次扫描的漏电流在线性区和弱饱和区要明显小于第一次扫描的漏电流. 我们把两次直流扫描下漏电流下降的现象称为直流扫描电流崩塌. 电流下降的大小称为崩塌量, 如图 1 所示. 从图 1(a)可以看出直流扫描电流崩塌的一些基本特点: 1) 崩塌主要发生在线性区到弱饱和区的范围内, 在强饱和区几乎没有观察到明显的崩塌; 2) 随着漏电压的增加, 在线性区崩塌量逐渐增大, 大约在膝点电压左右崩塌达到了最大值, 此后又逐渐减小; 3) 崩塌主要发生在第一次直流扫描的高漏电压段, 第二次与第三次扫描之间崩塌就很微弱, 并且逐渐趋于饱和; 4) 图 1(a)中的插图为往返扫描的输出特性曲线. 由图可知崩塌与扫描方式有关. 通过以上的分析可以得出, 器件的直流测试已经不再是一个静

态的过程, 而成为一个随时间变化的瞬态过程.

### 3. 直流扫描电流崩塌机理

电流崩塌与表面电子陷阱有很强的相关性, 一般认为是表面电子陷阱的电子俘获造成了电流崩塌. 关于电流崩塌机理的解释模型现在主要有两种: “虚栅”模型和应力模型. 由于虚栅模型能够很好地解释表面态与沟道电流的关系, 所以本文将从虚栅模型出发, 讨论直流扫描电流崩塌的机理. 图 2 给出了直流扫描电流崩塌的原理简图.

AlGaIn/GaN HEMT 器件的阈值电压  $V_{th}$  表达式为

$$V_{th} = \phi_{ms} - \Delta E_C - \frac{qN_d d_d^2}{2\epsilon} - E_p d, \quad (1)$$

其中  $\phi_{ms}$  为栅肖特基势垒高度,  $\Delta E_C$  为异质结界面的导带不连续性,  $d_d$  为 AlGaIn 掺杂层厚度,  $d$  为 AlGaIn 隔离层厚度,  $E_p$  为 AlGaIn 层极化电场强度 (简化考虑极化效应对 2DEG 的复杂影响<sup>[5]</sup>). 在器件正常工作与测试过程中, 有电子注入到栅漏间隔区的表面电子陷阱中, 随着表面电子陷阱对电子俘获的增加, 在栅漏间隔区的 AlGaIn 层表面就形成了一个带负电的虚栅. 在该虚栅的作用下, 使得虚栅下的沟道耗尽, 从而形成电流崩塌.

假设表面陷阱电子的面浓度为  $n_t$ , 可得出虚栅阈值电压表达式为

$$V'_{th} = \phi'_{ps} - \Delta E_C - \frac{qN_d d_d^2}{2\epsilon} - E_p d - \frac{qd}{\epsilon} n_t, \quad (2)$$

这里  $V'_{th}$  为虚栅的有效阈值电压,  $\phi'_{ps}$  为虚栅处的表

面钉扎费密能级与半导体费密能级之差. 由电子浓度与电阻的关系可以得出, 这一区域的电阻为

$$R_{D, \text{trap}} = \frac{L_{\text{gl}}}{W} \cdot \frac{1}{\delta} = \frac{L_{\text{gl}}}{W} \cdot \frac{1}{qn_{2\text{DEC}}\bar{\mu}} = \frac{L_{\text{gl}}}{W} \cdot \frac{d}{\epsilon |V_{\text{th}}| \bar{\mu}}, \quad (3)$$

其中  $L_{\text{gl}}$  与  $W$  分别为栅漏间隔区长度与栅宽,  $\bar{\mu}$  为虚栅下沟道电子的平均迁移率(由于沟道电子的迁移率随着漏压的不同而有所变化). 可见, 随着表面陷阱电子的注入, 器件的  $R_{D, \text{trap}}$  变大.  $R_{D, \text{trap}}$  的变大引起了电流崩塌. 这里需要说明,  $R_{D, \text{trap}}$  的变化只有在线性区或弱饱和区有明显的的作用. 在强饱和区, 器件漏端夹断区与虚栅下方的沟道耗尽区重合, 使得电流崩塌对强饱和区输出特性没有明显影响.

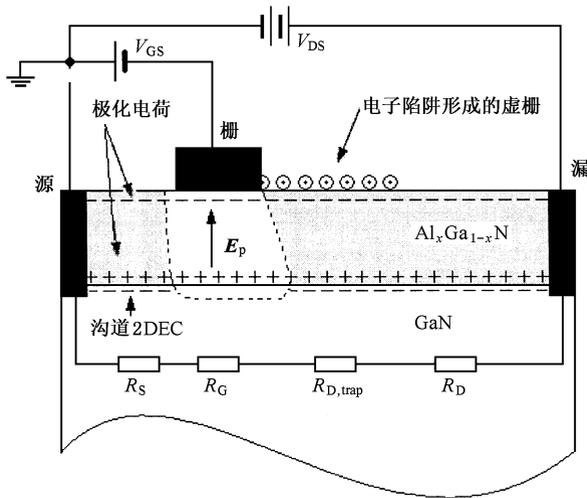


图 2 电流崩塌原理简图

### 4. 直流扫描电流崩塌模型的建立

在器件的正常工作条件下, 栅肖特基结处于反偏状态, 有肖特基反向电流流过栅极. 可以近似认为加在该肖特基结上的电压为栅漏之间的电压  $V_{\text{dg}}$ , 则该电流与栅漏电压之间应该满足肖特基结反向电流电压方程

$$J = A^* T^2 \exp\left(-\frac{qV_D - q\Delta\phi}{k_0 T}\right) \left[\exp\left(-\frac{qV_{\text{dg}}}{k_0 T}\right) - 1\right], \quad (4)$$

其中  $A^*$  为肖特基理查逊常数,  $T$  为绝对温度,  $\Delta\phi$  为隧道效应影响下的势垒改变量<sup>[6]</sup>.

$$q\Delta\phi \approx \left[\frac{2q^3 N_d}{\epsilon} (V_D - V_{\text{dg}})\right]^{1/2} x_c,$$

$x_c$  为临界势垒厚度. 我们假定该电流的一小部分可以到达 AlGa<sub>n</sub> 层表面成为可以被表面陷阱俘获的电子. 则在时段  $t$  内可以到达 AlGa<sub>n</sub> 层表面参与陷阱俘获过程的电子数量为

$$N = \frac{S \int_0^t \mathcal{J}(t) dt}{q} \times k, \quad (5)$$

其中  $S = L_g \times W$  为栅极面积,  $k$  为在总的反向电流中可以到达 AlGa<sub>n</sub> 表面的电子所占的比例系数, 则该电子在 AlGa<sub>n</sub> 层表面形成的电子浓度为

$$n = \frac{N}{L_{\text{gl}} \cdot W \cdot d_t}, \quad (6)$$

其中  $d_t$  为表面陷阱层厚度. 这里用体陷阱来等效模拟表面陷阱. 取  $d_t = 1\text{nm}$ . 这样我们就得到了一个随时间变化的 AlGa<sub>n</sub> 层表面电子浓度的方程.

实验结果正如预料的一样, 表面陷阱俘获与释放电子的时间并不一致, 由图 1(a) 可以看出, 在多次重复扫描方式下, 在第一次扫描的高漏压端(饱和区)由于沟道电子向表面的注入发生了表面陷阱的电子俘获, 即产生电流崩塌, 因此在第二次扫描测试时, 即使在线性区即出现明显的电流崩塌. 而实验中, 我们把崩塌后的测试片在黑暗环境中静放 30min 后, 崩塌仍未消除. 由此可知表面陷阱的释放时间大于俘获时间. 所以在模拟过程中, 可以忽略陷阱的释放过程. 现在来考虑陷阱俘获电子的过程. 表面陷阱俘获电子的过程满足陷阱率方程<sup>[7]</sup>

$$\frac{df_n}{dt} = nC_n(1 - f_n) - n_l C_n f_n, \quad (7)$$

这里  $f_n$  为表面陷阱中电子的占有率,  $n$  为陷阱处的电子浓度,  $C_n$  为陷阱的俘获率,

$$\text{其中 } n_l = N_c \exp\left[\frac{E_t - E_C}{k_0 T}\right],$$

$E_t$  为陷阱的能级.

由方程(7)求解可得

$$f_n(t) = \frac{n}{n + n_l} + C \exp[-C_n(n + n_l)t], \quad (8)$$

其中  $C$  为解方程时的常数. 因为测试条件的不连续性, 我们把测试时间分为  $M$  段, 设  $n_i$  为第  $i$  个测量点初始时刻陷阱处电子的浓度, 则利用  $n_i$  就可以求得  $C$ . 这样陷阱内的电子浓度就可以表示为

$$n_t = \sum_{i=0}^{\text{Points}} N_i f_n(t), \quad (9)$$

其中 Points 为测量过程中多条曲线总共的测量点数.

(7)式反映了电子陷阱在俘获过程中的工作机理.在平衡过程中,陷阱满足(7)式,当导带中的电子浓度发生变化时,(7)式的平衡被打破,占有率 $f_n$ 随之发生变化,直到重新建立新的平衡为止.由表达式(8)可以看出,在导带电子浓度从 $n_1$ 跳变到 $n_2$ 的过程中, $f_n$ 随时间呈指数变化.其俘获时常数可以写为

$$\tau_c = \frac{1}{C_n(n + n_t)}, \quad (10)$$

可以看出随着注入电子浓度的增加,俘获时间变大,这就是我们在实验中得出的瞬态特性曲线时常数变化的原因.

结合方程(3)(8)(9)就可以得到一个栅漏间隔区电阻随时间变化的方程.这说明,在实际的测试过程中(输出特性、转移特性)随着测试时间的增加表面陷阱不断地俘获电子,测试过程成为一个伴随有陷阱充放电的随时间变化的瞬态过程.

为了简单起见,这里采用AlGaIn/GaN HEMT器件的二段模型<sup>[8,9]</sup>.这里模拟的器件结构与实验的器件结构相同,参数也一样.其他模拟参数为:关键电场 $E_c = 5 \times 10^6$  V/A,  $N_t = 1 \times 10^{17}$  m<sup>-2</sup>,  $R_s = 15 \Omega$ .

在模拟中,为了真实地模拟多次扫描时的实验条件,测试信号波形必须自己构造.图3为在多次扫描方式下的输入信号波形的一个例子.模拟条件为: $V_g = 1.0$  V,  $V_d = 0$  V—20 V,测试时间(HP4156B实际测试时间)=1 s,两次测试间的间隔时间=2 s.以上时间都是从实验中实际测试得出.

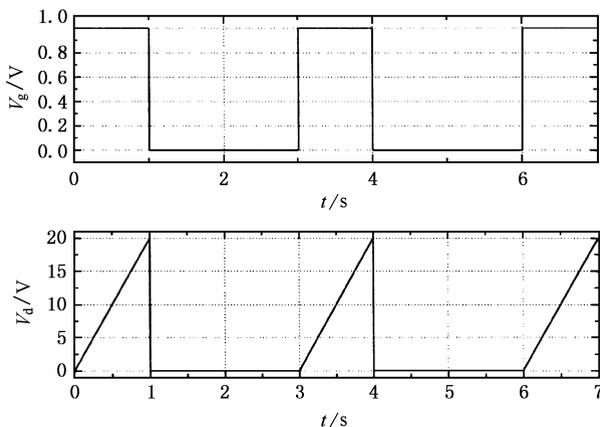


图3 模拟中的输入信号波形

## 5. 讨论与分析

图4、图5为实验曲线与相应的模拟曲线的比

较图.可以看出,模拟曲线与实验曲线取得了很好的一致.图4反映了在不同的扫描电压下,多次重复扫描中的电流崩塌现象.可以看出,在低场区,几乎没有崩塌发生.随着扫描漏压的增加,崩塌量逐渐增大,在扫描电压为20V左右崩塌达到了饱和.图5反映了在往返扫描方式下的直流扫描电流崩塌现象.在实验曲线中,饱和区漏电流随漏电压的增加而略微减小,这是自热效应引起的结果<sup>[10]</sup>.模拟中我们没有考虑这种影响,所以模拟曲线在饱和区为一条平行于横轴的直线.下面首先讨论模拟曲线与实验曲线的差别,然后再讨论曲线所反映的直流扫描电流崩塌的一些细节问题.

经过分析,有两个因素影响模拟结果与实验结果的符合程度.其一为阈值电压.对于二段模型,阈值电压的大小决定了漏电流的大小,阈值电压越大,在同等条件下漏电流就越大.实验中我们所得的阈值电压为一个统计值.由实验数据可以看出,在低场区阈值电压低于我们在模拟中设定的值,而在高场区却高于该值.所以图4(a)(b)(c)中的模拟电流略低于实际值,而图4(d)中在线性区的最高点却高于实际值.另外一个因素为(3)式中的平均迁移率.我们知道,沟道电子的迁移率并不是个定值,而是随着沟道电场的变化而变化.一般而言,随着沟道电场的增强,迁移率逐渐饱和.根据(3)式可以得出,随着沟道电场的增强,虚栅电阻逐渐增大,这就是图4(b)中模拟曲线没有实验曲线弯曲的原因.

通过以上讨论可知,我们建立的模型基本上可以描述直流扫描电流崩塌现象.下面就从实验和模型角度对电流崩塌的一些细节问题进行讨论.由实验与模拟结果可以看出,直流扫描电流崩塌仅仅发生在线性区到弱饱和区的范围内.在深饱和区,几乎没有明显的电流崩塌.从图4(c)(d)可以看出,当漏电压大于12V后,两次扫描下的漏电流几乎没有差别.从模拟的角度出发,就可以看出,在线性区和弱饱和区,栅下沟道还没有完全耗尽,其栅下沟道电阻 $R_C$ 还不是很大.这时栅漏间隔区下沟道电阻的阻值 $R_{D\_trapp}$ 可以与 $R_C$ 比拟,所以 $R_{D\_trapp}$ 的增加必然引起漏电流的下降.但是在深饱和区,栅下沟道近漏部分已经完全耗尽,栅下沟道电阻 $R_C$ 非常大, $R_{D\_trapp}$ 已经不能与该电阻比拟,所以 $R_{D\_trapp}$ 的增大对漏电流的改变没有多大的影响.模拟中可以得出该电阻的变化引起的电流变化非常小,几乎可以忽略不计.

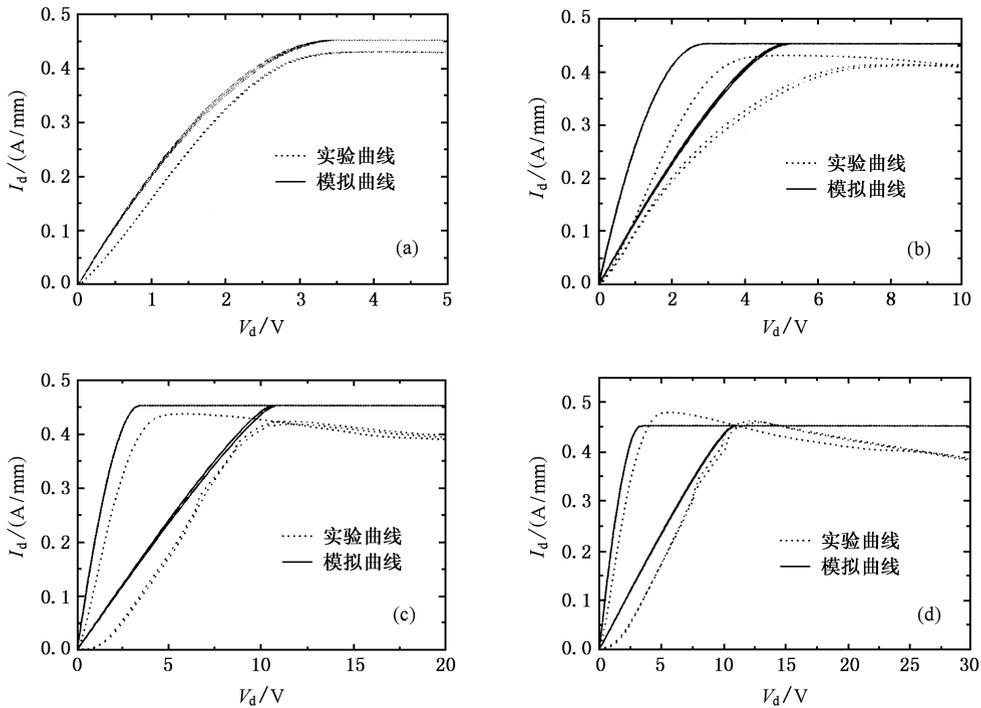


图4 输出特性的多次重复扫描下模拟与实验结果的比较(曲线中的条件均为实验中所得的实际条件.图中虚线为三次扫描中的实验曲线,实线为模拟曲线)(a)多次重复  $I$ - $V$  特性扫描下的模拟与实验结果的比较(条件: $V_g = 1\text{V}$ ,  $V_d = 0\text{V}-5\text{V}$ ).扫描点数  $n = 101$ , 扫描点间的时间间隔  $t_1 = 0.05\text{s}$ , 两次曲线间的时间间隔  $t_2 = 2\text{s}$ .各扫描3次);(b)多次重复  $I$ - $V$  特性扫描下的模拟与实验结果的比较(条件: $V_g = 1\text{V}$ ,  $V_d = 0\text{V}-10\text{V}$ ).扫描点数  $n = 201$ , 扫描点间的时间间隔  $t_1 = 0.05\text{s}$ , 两次曲线间的时间间隔  $t_2 = 2\text{s}$ .各扫描3次);(c)多次重复  $I$ - $V$  特性扫描下的模拟与实验结果的比较(条件: $V_g = 1\text{V}$ ,  $V_d = 0\text{V}-20\text{V}$ .扫描点数  $n = 101$ , 扫描点间的时间间隔  $t_1 = 0.01\text{s}$ , 两次曲线间的时间间隔  $t_2 = 2\text{s}$ .各扫描3次);(d)多次重复  $I$ - $V$  特性扫描下的模拟与实验结果的比较(条件: $V_g = 1\text{V}$ ,  $V_d = 0\text{V}-30\text{V}$ .扫描点数  $n = 101$ , 扫描点间的时间间隔  $t_1 = 0.01\text{s}$ , 两次曲线间的时间间隔  $t_2 = 2\text{s}$ .各扫描3次)

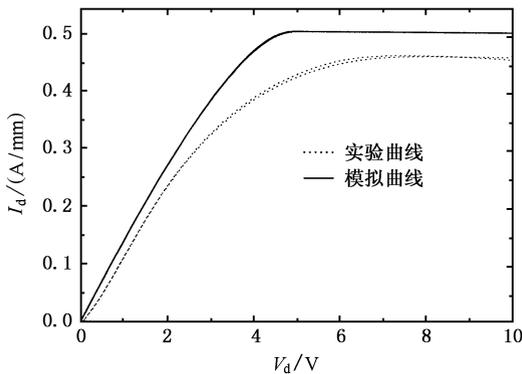


图5 模拟与实验往返扫描结果(往返测试条件为  $V_g = 1\text{V}$ ;  $V_d = 20\text{V}-0\text{V}-20\text{V}$ ; 扫描点数  $n = 101$ , 扫描点间的时间间隔  $t_1 = 0.01\text{s}$ , 两次曲线间的时间间隔  $t_2 = 2\text{s}$ .各扫描一次.图中虚线为实验曲线,实线为模拟曲线)

在输出特性的多次扫描方式下,由图4(a)可以看出,在低场下( $V_{DS} < 5\text{V}$ 左右),多次扫描几乎没有

发生崩塌现象,这是因为在低场情况下,栅漏电阻  $R_{D,trap}$  变化很小,几乎可以忽略所致.在这一区域,栅漏间沟道已经开始耗尽,但由于这时沟道2DEG浓度还比较高,所以耗尽比较困难.只有在高场区,栅漏间沟道2DEG浓度很小的时候,同样的陷阱电荷改变量才可以引起很大的变化.图6从模拟的角度说明了这种变化.所以可以近似的认为只有在高场区才会发生崩塌.利用这一结论我们很容易解释为什么多次扫描中,从第二次扫描开始才看到明显的崩塌现象.在第一次扫描的线性区,几乎没有发生崩塌,而第二次扫描的线性区却是“继承”了前次高场区崩塌的结果,所以出现明显的崩塌.

结合图4(b)(c)(d),发现随着扫描最终漏压的增大,崩塌趋于饱和,这是因为表面陷阱饱和的结果.从图6的表面陷阱占有率变化图就可以看出.由图7还可以看出,占有率在第一次扫描的时段内变化最大,以后变化趋缓.所以崩塌主要发生于第一次

扫描的高场区。

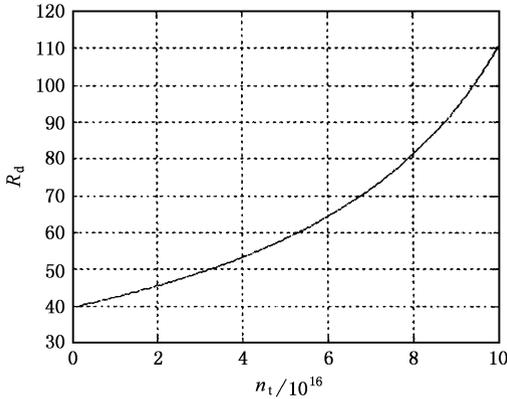


图 6 表面陷阱浓度对栅漏电阻  $R_{D, trap}$  的影响

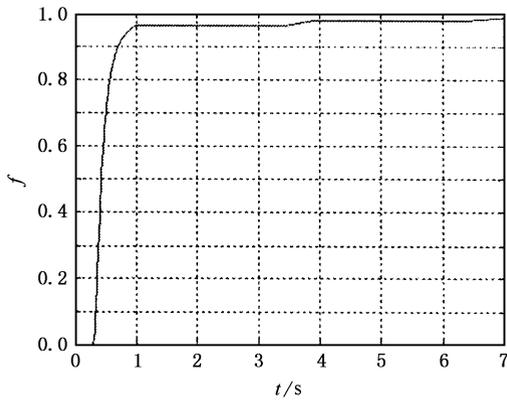


图 7 表面陷阱电子占有率随时间变化关系(模拟条件为多次扫描方式,图中 1s—2s 时间段为测试间隔时间段,这里忽略了陷阱的释放,所以曲线为一平行于时间轴的直线)

在输出特性的往返扫描方式下,由图 5 可以看出,在先从高漏压扫描到低漏压再回到高漏压的方式下,没有发生崩塌现象.这用上面得出的结论可以很容易理解.在这种扫描方式下,从扫描的开始阶段(高场区阶段)就已经崩塌了,所以以后的各条曲线也都是崩塌后的曲线,所以与第一条曲线没有明显的电流下降现象.我们把实验中所得的多次扫描方式下的第二次扫描的曲线与该种方式下第一次扫描的曲线进行对比,发现几乎完全重合,进一步证明崩塌主要是由于高场区陷阱俘获的结果.

## 6. 结 论

本文从理论出发,结合实验所得结论建立了一个简单的电流崩塌模型.通过求解该模型,对 GaN HEMT 器件的直流电流崩塌对输出特性的影响进行了模拟.模拟结论显示该模型与实验结论有良好的-致性,并利用该模型对电流崩塌的问题进行了深入的讨论.

实验与模拟结果显示,直流崩塌主要发生于线性区与弱饱和区,并且主要是因为高场区的作用.随着扫描漏压的增加,崩塌量逐渐增大,在漏压为 20V 左右,崩塌达到饱和.这就是产生电流崩塌的原因.当然,由于模型忽略了自热效应的影响,所以在某些地方与实验曲线还有不一致的地方,但是,本模型给出 AlGaIn/GaN 的 HEMT 电流崩塌的规律是完全符合的.

- [ 1 ] Kim H, Thompson R M, Tilak V, Prunty T R, Shealy J R, Eastman L F 2003 *IEEE Electron Device Letters* **24** 421
- [ 2 ] Wu Y F, Saxler A, Moore M, Smith P, Sheppard S, Chavarkar P M, Wisleder T, Mishra U K, Parikh P 2004 *IEEE Electron Device Letter* **25** 117
- [ 3 ] Mittereder J A, Binari S C, Klein P B, Roussos J A, Katzer D S, Storm D F, Koleske D D, Wickenden A E, Henry R L 2003 *IEEE 03 CH37400. 41st Annual International Reliability Physics Symposium* 320
- [ 4 ] Simin G, Koudymov A, Tarakji A, Hu X, Yang J, Khan M A 2001 *Applied Physics Letters* **79** 2651
- [ 5 ] Kong Y C, Zheng Y D, Zhou C H, Deng Y Z, Gu S L, Shen B, Zhang R, Han P, Jiang R L, Shi Y 2004 *Acta Phys. Sin* **53** 2320 (in Chinese) [孔月婵、郑有、周春红、邓永桢、顾书林、沈波、

- 张荣、韩平、江若璩、施毅 2004 *物理学报* **53** 2320]
- [ 6 ] Liu E K, Zhu B S, Luo J S. 1994 *Semiconductor Physics* (Beijing: National Defence Industry Press) [in Chinese] [刘恩科、朱秉升、罗晋生 1994 *半导体物理学* (北京:国防工业出版社)]
- [ 7 ] Shockley W, Read W T 1952 *Phys. Rev* **87** 835
- [ 8 ] Yang Y, Wang P, Hao Y et al 2005 *Acta Electronica Sinica* **33** 205 (in Chinese) [杨燕、王平、郝跃等, 2005 *电子学报* **33** 205]
- [ 9 ] Mishra U K, Wu Y F, Keller B P, et al 1998 *IEEE Trans Microwave Theory Techn* **46**(6) 756
- [ 10 ] Hyungtak Kim, Fabrication, performance and degradation mechanism of aluminium gallium nitride/gallium nitride heterostructure field effect transistor, August 2003.

# Current slump mechanism and its physical model of AlGaIn/GaN HEMTs under DC bias<sup>\*</sup>

Hao Yue Han Xin-Wei Zhang Jin-Cheng Zhang Jin-Feng

( *Microelectronics Institute ,Xidian University ,Xi 'an 710071* )

( *Key Laboratory for Wide Band-gap Semiconductor Materials and Devices of Ministry of Education ,Xidian University ,Xi 'an 710071 ,China* )

( Received 5 December 2005 ; revised manuscript received 17 February 2006 )

## Abstract

As the most remarkable effect in GaN microwave power device , Current slump has been studied widely . However , there still exist unsolved problems . Based on the analysis of experiment and theory on the AlGaIn/GaN high electron mobility transistor ( HEMT ) under dc sweep , an analytical model for the current collapse is developed considering the effects of polarization and surface states . The comparison between simulations and physical measurements shows a good agreement .

**Keywords :** AlGaIn/GaN HEMT , DC sweep , current slump , model

**PACC :** 7280E , 7360L , 7220J

---

<sup>\*</sup> Project supported by the National Defense 973 Program of China ( Grant Nos. 2002CB3119 , 513270407 ) , The National Defense Scientific and Technical Key Lab Fund of China ( Grant Nos. 51433040105DZ0102 , 51432030204DZ0101 ) .