

# AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT 器件电流坍塌和膝点 电压漂移机理的研究\*

王 林 胡伟达<sup>†</sup> 陈效双<sup>†</sup> 陆 卫

(中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家重点实验室, 上海 200083)

(2009 年 11 月 18 日收到; 2009 年 12 月 14 日收到修改稿)

考虑了势垒层、缓冲层体陷阱及表面电荷的浓度变化对电流坍塌和膝点电压的影响, 发现表面电荷和势垒层体陷阱浓度的变化对沟道电子的浓度影响较小, 表面电荷浓度变化下的膝点电压的偏移和坍塌强度的大小与势垒层势阱能量的变化有着主要的关系. 缓冲层有着比势垒层更强的局域作用, 势垒层和缓冲层的体陷阱浓度在一定范围变化时的膝点电压偏移主要是由沟道电子浓度的变化而引起的, 但偏移量却比表面电荷浓度变化的情况下小很多. 势阱能量的变化是造成膝点电压偏移的重要原因, 坍塌强度主要取决于势阱能量和沟道的电子浓度.

**关键词:** AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 高电子迁移率晶体管, 电流坍塌, 膝点电压, 陷阱俘获

**PACC:** 7320D, 7340N, 7360L

## 1. 引 言

近年来, AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 由于其潜在的优越性能, 引起了人们的广泛关注, 它具有较高的频率特性, 可以输出较高的微波功率, 广泛地应用于基站信号传输、远距离空间通信等需要较高功率的场合<sup>[1-3]</sup>, 特别是在目前比较热的 THz 探测领域, 由于这种器件沟道有着较高的电子浓度和迁移率, 利用等离子体振荡可以在室温下实现 0.1—0.6THz 的非共振探测<sup>[4]</sup>. 目前, Ga<sub>N</sub> 基 HEMT 器件已经走向了实用化的阶段, 发挥着关键性的作用, 但是电流坍塌效应一直以来制约着该器件的输出功率和可靠性<sup>[5]</sup>, 因此对该器件的优化设计是一个亟待解决的问题, 很多科技人员对如何降低电流坍塌效应做了大量的研究, 提出了各种各样的数值模拟模型, 例如栅延迟电流坍塌效应模拟<sup>[6]</sup>, 漏延迟电流坍塌效应模拟<sup>[2]</sup>, 自加热效应和量子、热电子效应模拟<sup>[5]</sup>, 虚栅模型<sup>[7,8]</sup>等, 考虑了实际应用条件下, 电流坍塌效应形成的原因及其对传输特性曲线、漏电流时间响应的影响, 指出体陷阱和表面态都会消耗沟道中的二维电子气, 是形

成电流坍塌效应的主要原因. 虽然体陷阱和表面态降低沟道电子浓度而引起电流坍塌的现象被人们所广泛接受<sup>[9]</sup>, 但对电流坍塌所引起的一系列物理量的变化如膝点电压偏移、坍塌强度的变化等没有给出详细的计算和理论解释.

为此, 本文系统地研究了 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT 器件在不同体陷阱和表面电荷浓度下, 膝点电压和电流坍塌强度的变化情况, 最后发现体陷阱浓度变化下的膝点电压偏移和电流坍塌强度主要由沟道电子浓度所决定, 而表面电荷浓度变化下的膝点电压偏移主要是由于势垒层 (AlGa<sub>N</sub> 层) 中导带能量的变化而引起的, 另外电流坍塌的强度主要取决于势阱的能量, 下面就对以上的结果进行详细地说明.

## 2. 模型的描述

图 1 为模拟中所采用的器件结构和坐标方向, 其中原点在水平方向与栅极右边界位置有 0.1 μm 的偏离. Ga<sub>N</sub> 层具有较大的禁带宽度 (参数在表 1 中给出), 在 Ga<sub>N</sub> 层和 AlGa<sub>N</sub> 层之间加一层较薄的 InGa<sub>N</sub> 层主要是为了降低表面和表面的粗糙度<sup>[1]</sup>, 同时由于比较大的导带能量不连续导致 InGa<sub>N</sub> 层

\* 国家自然科学基金 (批准号: 10747162), 上海应用材料研究与发展基金 (批准号: 08520740600), 中国科学院上海技术物理研究所创新专项 (批准号: Q-ZY-7, Q-ZY-4) 资助的课题.

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: wdhu@mail.sitp.ac.cn; xschen@mail.sitp.ac.cn

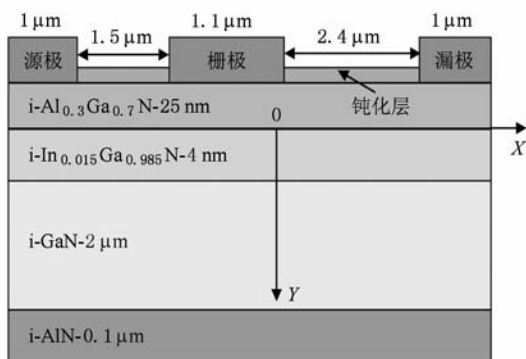


图1 GaN基HEMT器件的结构和模拟中采用的坐标方向

具有较高的二维电子气(2DEG)浓度并作为沟道区域的中心.在AlGa<sub>N</sub>,InGa<sub>N</sub>和Ga<sub>N</sub>各层之间存在着由自发极化电荷和压电极化电荷组成的表面电荷<sup>[1,5,10]</sup>,理论上计算结果表明在AlGa<sub>N</sub>和InGa<sub>N</sub>层之间的表面电荷的浓度在 $(1.5-1.7) \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 左右,考虑到由于局部压缩形成陷阱与表面电荷相抵消,降低了表面电荷的浓度<sup>[11,12]</sup>,因此在模拟中我们都把有效表面电荷的浓度定为 $1.15 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ,而在AlGa<sub>N</sub>层表面还存在施主类型的表面态,最后导致在AlGa<sub>N</sub>层与钝化层之间表面电荷的浓度只有 $10^{11}-10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 左右<sup>[3]</sup>.此外,实验观察的结果<sup>[13]</sup>表明如果Al的摩尔分数每增加1%,栅极处的肖特基势垒高度近似增加0.02 V,在模拟中将其定为 $\Phi_{\text{B}} = 1.55 \text{ V}$ .由于相对不成熟的器件工艺,在GaN基HEMT器件中存在结构缺陷,例如错位、C杂质等,这些缺陷形成了许多体陷阱<sup>[14]</sup>,目前虽然可以使用光电离能谱的办法对于陷阱能级进行测量,但由于工艺的离散度,很难用一个或两个能级进行描述,因此在模型中用单一的受主类型体陷阱来近似,浓度取为 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,俘获截面 $\sigma_{\text{tn}} = 1 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-2}$ ,位于Fermi能级下面1 eV,其他的材料参数如表1所示.

表1 300 K晶格温度时所采用的模拟参数

	参数值		
	GaN	InN	AlN
相对介电常数	9.5	15.3	8.5
禁带宽度/eV	3.47	0.8	6.2
电子亲和能/eV	3.4	5.8	1.9
电子迁移率/( $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ )	1100	2400	300
电子饱和速度/( $10^7 \text{ cm/s}$ )	1.2	2.6	1.5
有效导带态密度/ $10^{18} \text{ cm}^{-3}$	2.65	1.3	4.1
能量弛豫时间/ps	0.1	0.1	0.1

虽然所使用的模拟软件可以进行非等温模拟,但由于器件尺寸较大,在所使用的电压范围内自加热效应不明显,模拟过程中将晶格温度设定为300 K,为了能够很好地模拟器件的热电子和量子力学效应,使用流体动力学模型和密度梯度传输模型,密度梯度模型通过对连续性方程的量子力学修正,可以得到与泊松-薛定谔方程相一致的结果<sup>[1]</sup>,在迁移率高场饱和方面,使用Canali模型<sup>[15]</sup>.

在微波放大电路中,器件的最大输出功率可以由下式给出<sup>[7]</sup>:

$$P = [(V_{\text{breakdown}} - V_{\text{knee}}) \times I_{\text{sat}}] / 8. \quad (1)$$

因此,膝点电压和饱和电流对输出功率有着较大的影响,所以考察它们的变化以及引起变化的内在物理机理有着重要的意义,下面就从势垒层和缓冲层体陷阱以及表面电荷三个引起电流坍塌主要因素出发,考察膝点电压偏移和电流坍塌强度变化的主要成因.

### 3. 模拟的结果与讨论

#### 3.1. 势垒层体陷阱的情况

势垒层(AlGa<sub>N</sub>层)与沟道区的禁带宽度相差较大,从而在沟道区形成很深的势阱,势垒壁的高度比缓冲层(GaN层)要高出很多,电子比较容易进入缓冲层被体陷阱俘获.为了考察沟道中电子气的浓度对电流坍塌效应的影响,我们对模拟结果进行处理,于 $Y = 0.02 \mu\text{m}$ 处进行切片,得到如图2所示的电子气浓度分布情况,图2(a)为沟道电子浓度沿着X方向的分布,(b)是基于(a)的基础上所提取的平均电子浓度和位置( $X = -1.75 \mu\text{m}, Y = 0.02 \mu\text{m}$ )处的电子浓度分布.从图2(a)中可以看出栅极下方的区域与两边钝化层相比浓度明显降低,这主要是因为栅极与AlGa<sub>N</sub>层的界面附近存在空间电荷吸引沟道电子,造成栅极处的电子较两边更容易被势垒层体陷阱俘获.另外,在图2(b)中可以看出随着势垒层体陷阱浓度的增大,2DEG平均浓度也随着下降,但是下降比例只有6%.随后考察了在 $X = -0.5 \mu\text{m}$ 处的导带能量和被俘获的电子浓度变化情况(如图3所示),发现导带能量在各体陷阱浓度下基本是重合的,没有发现可观的变化.图3显示出在Y方向从 $-0.02 \mu\text{m}$ 到 $0.02 \mu\text{m}$ 的体陷阱基本被电子所占据,造成沟道电子浓度区别的主要

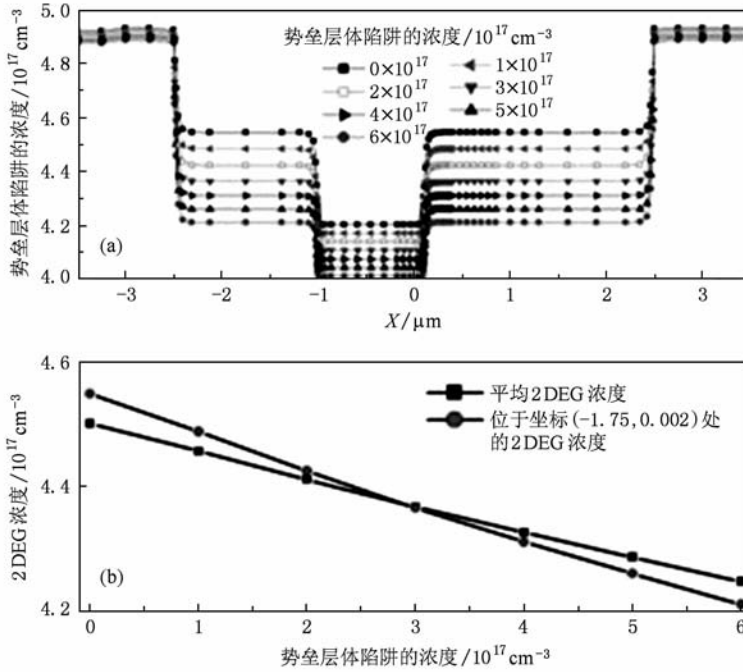


图2  $V_g = 0 \text{ V}, V_d = 0 \text{ V}$  时沟道 ( $Y = 0.02 \mu\text{m}$ ) 的二维电子气浓度分布 (a) 不同体陷阱浓度下的沟道电子浓度分布; (b) 平均浓度和特征位置处的浓度分布

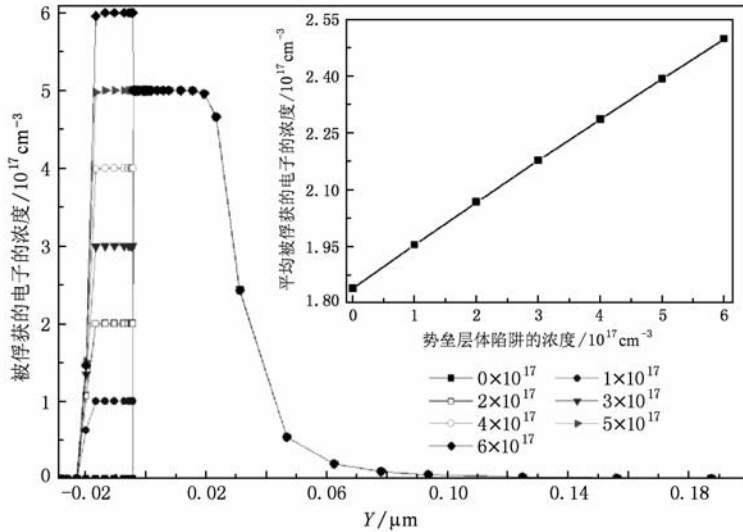


图3 在  $X = -0.5 \mu\text{m}$  处被俘获的电子的浓度和平均浓度, 其中  $V_g = 0 \text{ V}, V_d = 0 \text{ V}$

是势垒层(层厚  $0.029 \mu\text{m}$ )的体陷阱. 内嵌的一副小图是平均被俘获的电子浓度, 从图中可以看出浓度变化了  $0.6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  (即变化了 20%—30%). 尽管如此, 势垒层中被俘获的电子对势垒层的导带能量几乎没有影响, 这是因为其导带能量高而陡, 对沟道电子局域的作用并不强烈.

鉴于以上的讨论作出  $V_g = 0 \text{ V}$  时的  $I_d$ - $V_d$  曲线 (如图 4 所示), 其中插图是提取出的膝点电压的偏

移, 可以看出电流坍塌效应随着体陷阱浓度的增大而增加, 膝点电压降低  $0.2 \text{ V}$  左右, 饱和电流的间距近似相等. 在饱和区漏电流可以近似表示成

$$J_s = qnv_s, \quad (2)$$

$v_s$  为电子的饱和速度. 由于势垒层体陷阱对势阱能量几乎没有影响, 因此对于各种情况来说, 隧穿和热电子效应导致的电流坍塌主要取决于电子的动能. 在图 2 的讨论中电子的平均浓度变化了 6%, 因

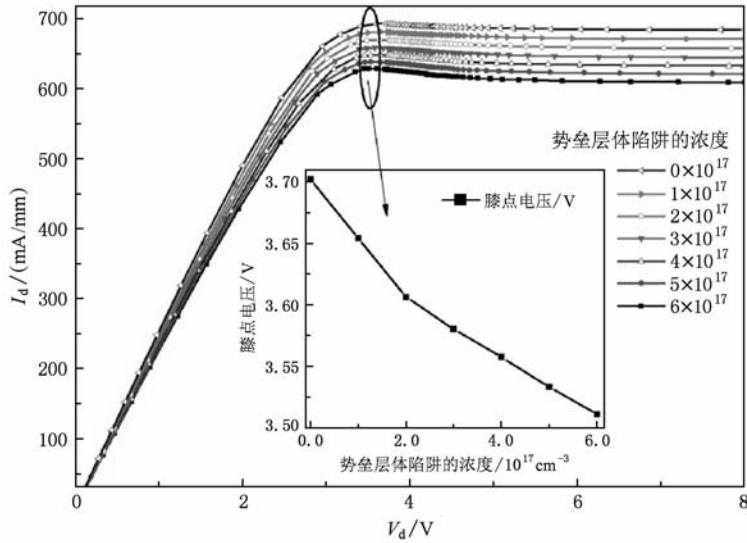


图4 势垒层体陷阱浓度变化下的  $I_d$ - $V_d$  曲线和膝点电压的偏移

此总体来说平均自由程变化很小. 在图4发生电流坍塌时沟道电子其实并未达到速度饱和, 因为由半导体物理<sup>[16]</sup>的公式可得

$$\nu_n = -\mu_n E. \quad (3)$$

将表1中 GaN 的迁移率代入可以得到在膝点电压处的速度大约为  $5.81 \times 10^6$  cm/s. 另外在器件的纵向, 沟道电子浓度越小, 电场也就越大, 无论发生速度饱和还是未饱和, 电子的隧穿系数则是增大的. 因此, 总体来说沟道电子浓度越低, 电子自由程内可以获得的动能就越大, 发生热电子和量子隧穿<sup>[17]</sup>的能力就越大, 导致膝点电压下降和坍塌效应增强, 但由于势垒层情况沟道电子浓度变化较小, 膝点电压变化只有 0.2 V, 坍塌效应增强得较少.

### 3.2. 缓冲层体陷阱的情况

缓冲层体陷阱的情况与势垒层的比较类似, 但势阱在缓冲层部分的能量比势垒层低很多, 相对而言电子比较容易被俘获, 另外缓冲层有  $2 \mu\text{m}$  厚对沟道电子浓度的影响较大(如图5所示, 其中插图是各种体陷阱浓度下, 即  $(2-6) \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  下的沟道中二维电子气的分布情况), 可以看出随着缓冲层体陷阱浓度的增加, 沟道电子气浓度 ( $Y = 0.02 \mu\text{m}$  处) 变化较大, 变化了 4 倍左右, 而在势垒层中的情形则只变化了 6%. 缓冲层体陷阱造成沟道电子浓度如此大的变化可在图7中得到很好的反映. 图6是  $V_g = -1.5 \text{ V}$ ,  $V_d = 0 \text{ V}$  时被俘获的电子浓度分布情况 ( $X = -0.5 \mu\text{m}$ ), 图6的插图是平均被俘

获的电子浓度. 由图6可以看出, 缓冲层被俘获的电子主要分布在  $Y$  方向  $0-0.035 \mu\text{m}$  之间, 而势垒层主要分布在  $-0.01-0 \mu\text{m}$  之间, 因此缓冲层体陷阱变化一个单位将导致沟道电子浓度较大的变化. 鉴于以上的讨论我们作了  $V_g = -1.5 \text{ V}$ ,  $V_d = 0 \text{ V}$  时的能带图(图7的插图所示), 并画出在该栅极偏压下的  $I_d$ - $V_d$  曲线(图7所示), 可以看出导带能量变化了 0.2 eV 左右, 缓冲层具有比势垒层更大的局域作用. 随着体陷阱浓度的增加电流坍塌效应明显增强, 且膝点电压向左偏移. 虽然在较高体陷阱浓度下, 势阱导带能量上升了 0.2 eV, 但由于沟道电子浓度变化较大, 因此总体来说, 膝点电压还是减小的. 图8为所作的膝点电压的偏移, 可以看出变化了 0.5 V 左右.

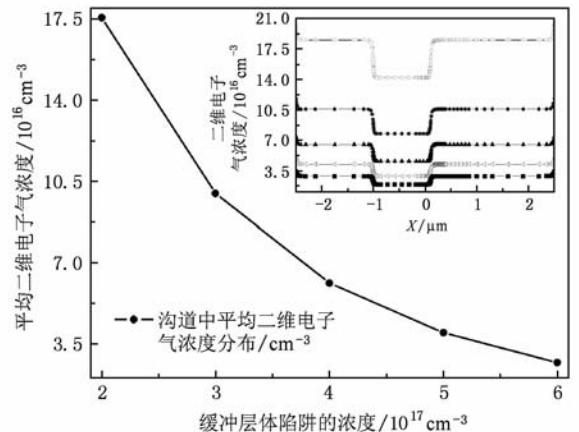


图5  $Y = 0.02 \mu\text{m}$  处二维电子气的浓度和平均浓度 ( $\text{cm}^{-3}$ ) 分布状况

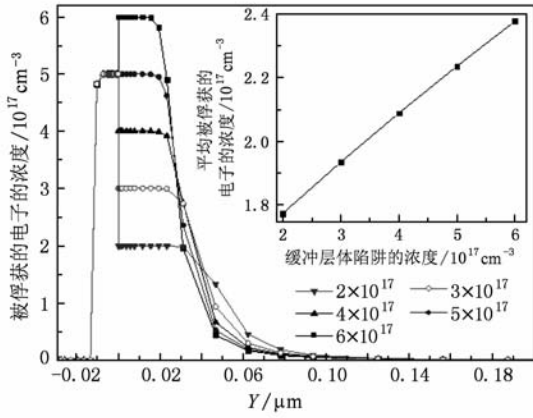


图 6  $X = -0.5 \mu\text{m}$  时被俘获的电子浓度分布和平均浓度

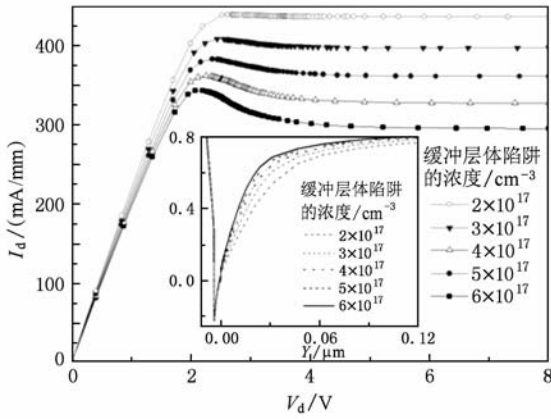


图 7 不同体陷阱浓度下的  $I_d$ - $V_d$  曲线, 插图为  $V_g = -1.5 \text{ V}$  和  $V_d = 0 \text{ V}$  时, 在  $X = -0.5 \mu\text{m}$  处的导带能量的变化

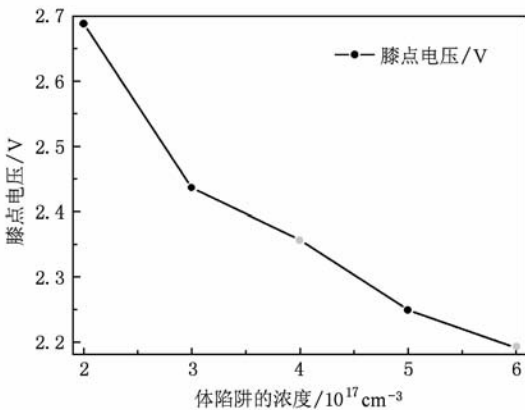


图 8  $V_g = -1.5 \text{ V}$  时, 体陷阱浓度变化下的膝点电压的偏移

### 3.3. 表面电荷 (AlGaIn 层) 的情况

下面着重讨论表面电荷的情形, 在  $V_g = 0 \text{ V}$  和

$V_d = 0 \text{ V}$  时的 2DEG 浓度分布情况如图 9 (a) 所示, 图 9 (b) 为  $V_g = -3 \text{ V}$  时的 2DEG 浓度分布, 从图中可以看出, 随着表面电荷浓度的增大, 两边钝化层的电子气浓度随之降低. 在虚栅模型<sup>[7]</sup>中, 表面施主类型缺陷被电子所占据, 构成漏电流成近似成指数地衰减, 造成输出功率降低了 30%, 采取钝化措施只能降低表面态的浓度. 在图 9 中可以看到类似于虚栅的效果, 为了更好地定量描述沟道电子浓度的变化, 我们又在图 10 中做出了 2DEG 的平均浓度和特征位置处的浓度分布情况. 在图 10 中, 可以看到负的栅压下平均浓度的变化比 0 V 时慢很多, 主要是因为栅下面的沟道电子在该电压下消耗得很多 (如图 9 (b) 所示), 在 0V 的电压下, 沟道电

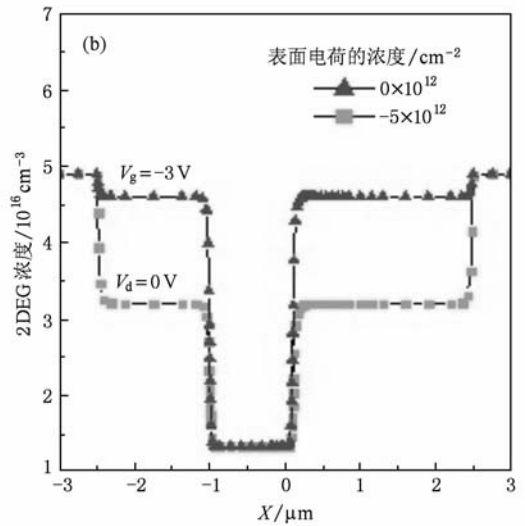
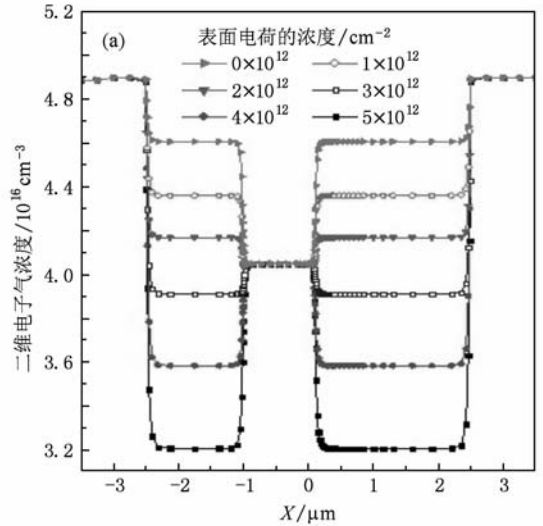


图 9 沟道中二维电子气浓度分布 (a)  $V_g = 0 \text{ V}, V_d = 0 \text{ V}$  时,  $Y = 0.02 \mu\text{m}$  处的电子浓度分布; (b)  $V_g = -3 \text{ V}, V_d = 0 \text{ V}$  时,  $Y = 0.02 \mu\text{m}$  处的电子浓度分布

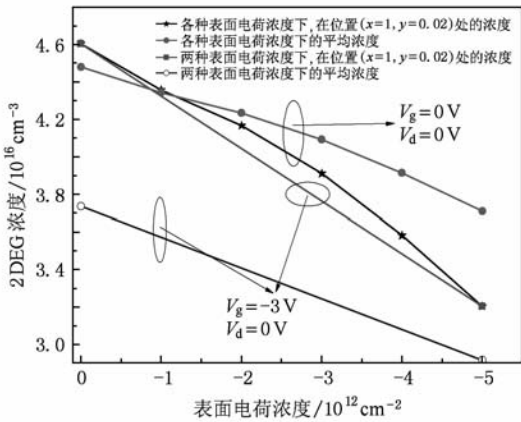


图 10 平均 2DEG 浓度和特征位置处的浓度分布

子浓度变化了 13.3% 左右. 鉴于此, 又考察了表面电荷情况下的  $I_d$ - $V_d$  曲线 (如图 11(a) 所示), 图 11(b) 是在此基础上提取出的膝点电压的偏移. 可以看出, 随着表面电荷浓度的增大, 电流坍塌效应减弱, 且膝点电压增大了 0.8 V, 饱和电流是下降的 (与虚栅的情况相一致). 在前面的讨论中, 沟道电子浓度越低, 所需的膝点电压越小, 坍塌效应越强, 而在表面电荷情况下, 膝点电压却是增大的, 增加得最多, 坍塌效应减弱. 为了找出其中的原因, 在  $X = 1.3 \mu\text{m}$  处进行切片, 提取势阱的能量分布, 发现势垒层部分的势阱能量有较大的改变, 而在缓冲层没有可观的变化. 图 12(a) 是在势垒层部分 ( $Y = -0.01 \mu\text{m}$ , 在该位置处  $-5 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$  浓度的导带能

量达到了缓冲层的最高点) 的导带能量分布情况, 可以看出, 随着表面电荷浓度的增加, 导带能量上升了 0.6 eV, 而这与膝点电压的偏移是可比拟的. 在钝化层和势垒层之间, 由高斯定理可以得到表面电荷所产生的电场强度为  $Q_M/\epsilon_i$ , 势垒层上的电势降落可以表示为<sup>[18]</sup>

$$\Delta = \delta Q_M / \epsilon_i, \quad (4)$$

其中,  $\delta$  为势垒层厚.

所以在  $Y = -0.01 \mu\text{m}$  处, 电势随着表面电荷浓度的增加降低, 导带能量上升, 势阱对沟道电子的限制作用增强, 这类似于有关材料的背底掺杂<sup>[2]</sup>. 在虚栅模型中, 只考虑了表面电荷对沟道电子的耗尽作用导致电流坍塌, 但没有考虑由于势垒层导带能量的调制作用对电流坍塌的影响. 为了更好地反映我们的结论, 又考虑了  $X = 1.3 \mu\text{m}$  处被俘获电子的浓度分布, 发现俘获电子大都分布在  $-0.028$ — $0.035 \mu\text{m}$  之间, 此时的电压为 10 V, 电子早已达到速度饱和. 同时, 又提取了  $Y = -0.017 \mu\text{m}$  处的浓度分布 (如图 12(b) 所示), 可以看出被俘获的电子浓度随着表面电荷浓度的增加而降低, 这主要是因为势垒层限制作用的增强导致隧穿系数减小的缘故. 因此, 在沟道电子浓度变化较小的情形下, 随着表面电荷浓度的增大, 势阱导带能量上升导致电流坍塌效应减弱, 引起电流坍塌的临界电压将增大.

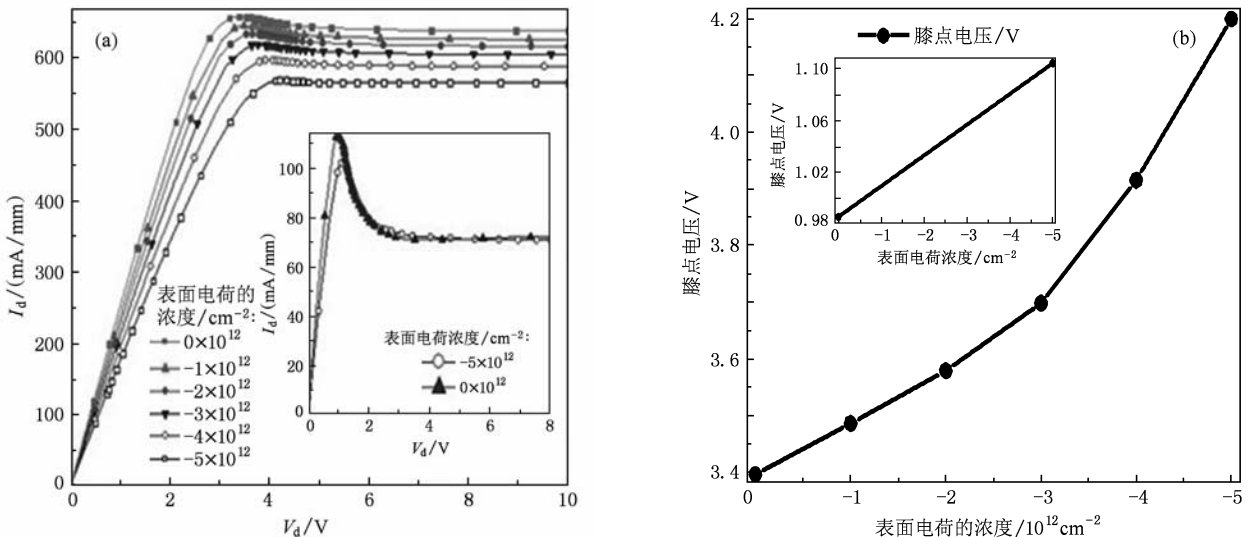


图 11 电流变化曲线和提取的膝点电压偏移情况 (a)  $V_g = 0 \text{V}$  时的  $I_d$ - $V_d$  曲线, 插图为  $V_g = -3 \text{V}$  时两种表面电荷浓度下的  $I_d$ - $V_d$  曲线; (b) 膝点电压的偏移

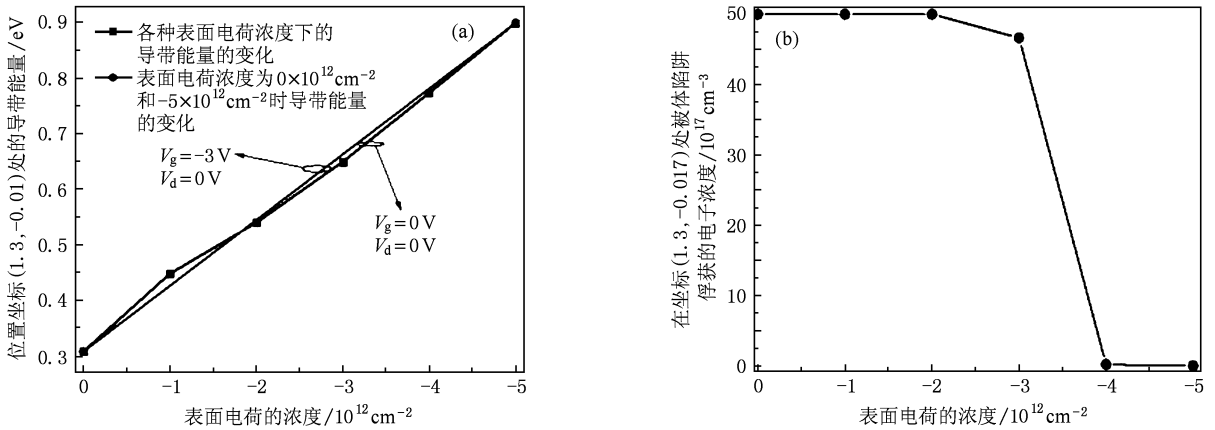


图 12 特征位置处的导带能量和被俘获的电子浓度 (a) 在  $X = 1.3 \mu\text{m}$ ,  $Y = -0.01 \mu\text{m}$  处导带能量的变化; (b) 在  $X = 1.3 \mu\text{m}$ ,  $Y = -0.017 \mu\text{m}$  处被俘获的电子浓度

## 4. 结 论

本文研究了体陷阱和表面电荷浓度的变化对电流坍塌和膝点电压偏移的影响,发现势垒层和缓冲层体陷阱浓度变化下的膝点电压偏移和电流坍塌效应主要取决于沟道的电子浓度. 势垒层由于其具有较高的能量,局域的作用不明显,体陷阱对势阱能量没有产生可观的影响,膝点电压偏移较小;缓冲层势阱能量虽有变化,但由于其沟道电子的浓

度变化较大,势阱能量的变化对膝点电压偏移的贡献很小;表面电荷浓度变化的情况下,势垒层能量变化较大,虽然沟道电子浓度变化较小,但发生电流坍塌所需的临界电压随着表面电荷浓度的增加而升高得最多,隧穿系数随之减小,构成坍塌效应减弱. 因此,势阱能量的变化对膝点电压的偏移有着重要的影响,在实际中要求输出较高微波功率的前提下,应以降低缓冲层体陷阱和表面电荷的浓度为主线以提高 2DEG 浓度,改变和提高缓冲层势阱能量以降低坍塌效应.

[1] Braga N, Mickevicius R, Gaska R, Hu X, Shur M S, Asif Khan M, Simin G 2004 *J. Appl. Phys.* **95** 6409  
 [2] Hu W D, Chen X S, Yin F, Zhang J B, Lu W 2009 *J. Appl. Phys.* **105** 084502.  
 [3] Hu W D, Chen X S, Quan Z J, Zhang X M, Huang Y, Xia C S, Lu W, Ye P D 2007 *J. Appl. Phys.* **102** 034502  
 [4] Knap W, Kachorovskii V, Deng Y, Rumyantsev S, Gaska R 2002 *J. Appl. Phys.* **91** 9346  
 [5] Hu W D, Chen X S, Quan Z J, Xia C S, Lu W, Ye P D 2006 *Appl. Phys. Lett.* **100** 074501  
 [6] Brag N, Mickevicius R, Gaska R, Shur M S, Asif K M, Simin G 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 4780  
 [7] Vetry R, Naiqain Zhang Q, Stacia Keller, Mishra K U 2001 *IEEE Trans. Electron Devices* **48** 560  
 [8] Wei W, Lin R B, Feng Q, Hao Y 2008 *Acta. Phys. Sin.* **57** 467 (in Chinese) [魏巍、林若兵、冯倩、郝跃 2008 物理学报 **57** 467]  
 [9] Xi G Y, Ren F, Hao Z B, Wang L, Li H T, Jiang Y, Zhao W, Han Y J, Luo Y 2008 *Acta. Phys. Sin.* **57** 7238 (in Chinese)

[席光义、任凡、郝智彪、汪莱、李洪涛、江洋、赵维、韩彦军、罗毅 2008 物理学报 **57** 7238]  
 [10] 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、郑有寔、周春红、邓永楨、顾书林、沈波、张荣、韩平、江若璩、施毅 2004 物理学报 **53** 2320]  
 [11] Bykhovski A D, Gaska R, Shur M S 1998 *Appl. Phys. Lett.* **73** 24  
 [12] Liu L J, Yue Y Z, Zhang J C, Ma X H, Dong Z D, Hao Y 2009 *Acta. Phys. Sin.* **58** 536 (in Chinese) [刘林杰、岳远征、张进城、马晓华、董作典、郝跃 2009 物理学报 **58** 536]  
 [13] Yu L S, Ying Q J, Qiao D, Lau S S, Boutros K S, Redwing J M 1998 *Appl. Phys. Lett.* **73** 26  
 [14] Mittereder J A, Binari S C, Klein P B, Roussos J A, Katzer D S, Storm D F 2003 *Appl. Phys. Lett.* **83** 1650  
 [15] Device simulator Sentaurus Device 2009 (formerly ISE-DESSIS), version Z-2009.3, Synopsys Inc., p15, 197  
 [16] Sze M S 2008 *Semiconductor Devices Physics and Technology*

- (Suzhou : Suzhou University Press) p53 (in Chinese) [施 敏  
2008 半导体器件物理与工艺 (苏州: 苏州大学出版社) 第  
53 页]
- [17] Feng Q, Hao Y, Yue Y Z 2008 *Acta. Phys. Sin.* **57** 1886 (in  
Chinese) [冯 倩、郝 跃、岳远征 2008 物理学报 **57** 1886]
- [18] Zeng S R 2007 *Semiconductor Devices Physics* (Beijing : Peking  
University Press) p137 (in Chinese) [曾树荣 2007 半导体器  
件物理基础 (北京: 北京大学出版社) 第 137 页]

## Study on mechanism of current collapse and knee voltage drift for AlGaIn/GaN HEMTs \*

Wang Lin   Hu Wei-Da<sup>†</sup>   Chen Xiao-Shuang<sup>†</sup>   Lu Wei

(National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China)

(Received 18 November 2009; revised manuscript received 14 December 2009)

### Abstract

In this article, we comprehensively showed the impact of barrier layer traps, buffer layer traps and surface charge on current collapse and knee voltage change, pointed out that the change in the concentration of surface charge and barrier layer traps have little influence on the 2DEG density in the channel. When the concentration of surface charge changes, the knee voltage drift and strength of current collapse are in close connection with the change of potential energy in quantum well. Buffer layer has stronger local effect than barrier layer, when the concentration of bulk traps change in these layers, knee voltage drift is mainly caused by the change of 2DEG density, but has less change compared with the situation of surface charge. Potential energy changes in the quantum well is an important reason for the change of knee voltage, the strength of current collapse is determined by the size of potential energy and 2DEG density.

**Keywords:** AlGaIn/GaN HEMTs, current collapse, knee voltage, carrier trapping

**PACC:** 7320D, 7340N, 7360L

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10747162), Applied Materials Shanghai Research and Development Fund (Grant No. 08520740600), Knowledge Innovation Program of Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, China (Grant No. Q-ZY-7 and Q-ZY-4).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: wdhu@mail.sitp.ac.cn; xschen@mail.sitp.ac.cn