

# GaAs MESFET 正向肖特基结电压 温度特性的研究

冯士维 吕长志 丁广钰

(北京工业大学电子工程学系 北京 100022)

**摘要** 本文对 GaAs MESFET 正向肖特基结电压  $V_{\text{sf}}$  随温度的变化特性进行了测量与分析,得到了在较宽的温度范围内恒定电流下的  $V_{\text{sf}}$  随温度的变化有很好的线性关系,并发现其温度系数  $\alpha = dV_{\text{sf}}/dT$  与测试电流有关,随着  $I$  的增大  $|\alpha|$  减少. 经过对试验点的拟合发现,  $kT$  与  $I$  的变化满足指数关系,且  $V_{\text{sf}}$  随温度的变化曲线在不同的测试电流下具有聚焦特性,即在绝对零度时,不同电流下的  $V_{\text{sf}}$  具有相同的值. 据此,我们得到了新的肖特基结电流电压关系式,很好地解释了  $V_{\text{sf}}-T$  曲线与测试电流的关系及其不同测试电流下的聚焦特性.

**PACC:** 7330,7340N,7390

## 1 引言

随着 GaAs MESFET 广泛应用于各种固态放大电路中, GaAs MESFET 的沟道温度及其热阻的测量变得越来越重要. 用电学法非破坏性测量器件的沟道温度及热阻是人们集中研究的目标之一<sup>[1]</sup>. 所说的电学法是利用电学参数随温度的变化,测量器件的工作温度. 这样温度敏感参数的选取,就成为电测量的重要基础. 通常 GaAs MESFET 栅源之间正向肖特基结的结压降  $V_{\text{sf}}$  随温度的线性变化特性<sup>[2]</sup>,是人们最常利用的.

关于  $V_{\text{sf}}$  随温度的线性变化关系已有许多人进行过研究和利用<sup>[3]</sup>,但其线性特性随测试电流的变化及  $V_{\text{sf}}-T$  在不同电流下的聚焦特性还未有人作过研究,而这些都关系到用电学法测量 GaAs MESFET 沟道温度的测量.

本文对  $V_{\text{sf}}$  随温度的变化进行了大量的测试,分析了其温度系数随电流变化的原因. 通过对实验数据的拟合,找到并解释了温度系数随电流的变化关系,并发现以及不同测试电流下  $V_{\text{sf}}-T$  的聚焦特性.

## 2 理论与测试装置

肖特基结的电流电压特性可由热电子发射模型得到<sup>[4]</sup>:

$$I = SA^* \cdot T^2 \exp\left(\frac{-qV_b}{nkT}\right) \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (1)$$

其中:  $S$  肖特基结面积       $A^*$  有效理查逊常数  
 $T$  绝对温度                 $k$  波尔兹曼常数  
 $q$  电子电荷                 $V_b$  势垒高度  
 $n$  理想因子                 $V$  加在肖特基结上的电压

公式(1)又可表示为:

$$V = nV_b - \frac{nKT}{q} \left( 2 \ln T - \ln \left( \frac{I}{A^*S} \right) \right) \quad (2)$$

若不考虑  $V_b$  随温度的变化,  $V$  随温度  $T$  的变化用温度系数  $\alpha$  为:

$$\alpha = \frac{dV}{dT} = \frac{nk}{q} \left( 2 - \ln \left( \frac{J}{A^*T^2} \right) \right) \quad (3)$$

从公式(3)可定性看出,小电流和室温下,肖特基结电压随温度的变化关系呈线性.以下用  $V_{gsf}$  表示肖特基结的正向结电压.

测量装置见图 1. 它采用计算机控制,可同时测量六只管子,测量时,将管子放在温箱中,保持一定的温度,通一恒定的正向小电流,电流小到不至于产生温升影响管子与周围温箱的平衡,然后测量各温度下  $V_{gsf}$ , 每一温度点的平衡时间为 30 分钟以保证管子与温箱达到很好的热平衡. 实验中可改变测试电流,测量不同电流下的  $V_{gsf}$ .

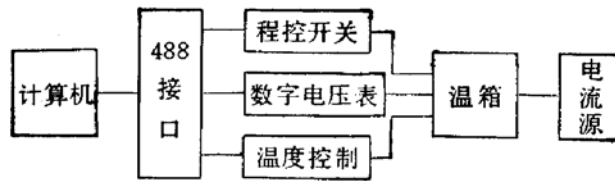


图 1 测量装置示意图

### 3 测量结果与分析

#### 3.1 $V_{gsf}$ 随温度的变化及其与测试电流的关系

测量的结果见图 2. 可见,  $V_{gsf}$  随温度增加而线性降低. 其变化关系可表示成:

$$V_{gsf} = \alpha T + V_0 \quad (4)$$

此式中  $T$  是摄氏温度,  $\alpha$  是温度系数, 其典型值为  $-1.1 \sim -1.6 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . 这种  $V_{gsf}-T$  负温度系数是由于温度升高, GaAs 导带中电子的动能增大, 越过肖特基势垒的机会增大, 若保持相同电流的话, 所需外加偏压就要减少.

图 2 可见, 改变测试电流时,  $V_{gsf}-T$  变化关系仍为一线性. 但当电流增加时, 温度系数  $|\alpha|$  变小. 可见温度系数  $\alpha$  依赖于测试电流  $I_t$ , 图 4 所示为正向肖特基结  $I-V$  特性. 不同的恒定电流  $I_t$  下, 相同温度下对应的  $V_{gsf}$  不同, 其随温度的变化率也不同, 将温度系数  $\alpha$  对电流  $I$  作图, 见图 3. 发现当电流  $I_t$  较小时,  $|\alpha|$  较大, 电流较大时,  $|\alpha|$  较小. 对于其它不同设计结构的 GaAs MESFET 也都反映出这种  $K$  与  $I$  的变化规律. 这是与 GaAs 肖特基结本身性质有关的.

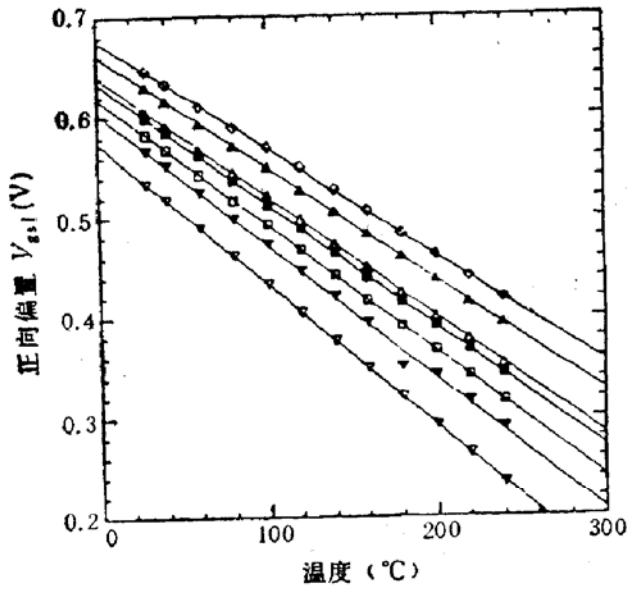


图2 不同测试电流  $V_{gsf}-T$  曲线(193#)

◇ 3mA ▲ 2mA △ 1mA ■ 800µA □ 500µA  
▼ 200µA ▽ 100µA

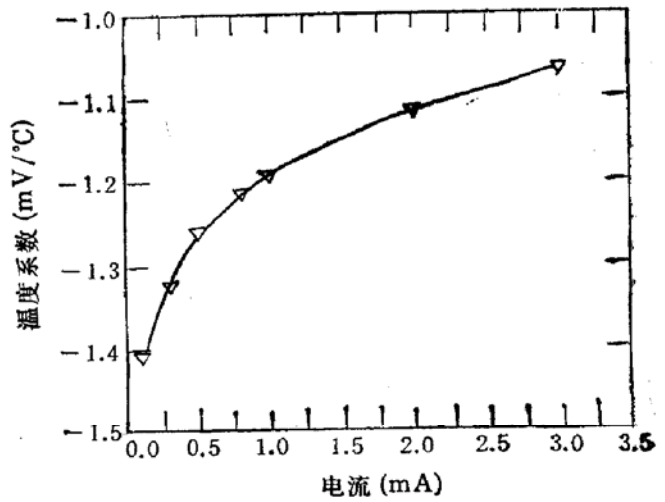


图3 温度系数随测试电流的变化(193#)

$L = 1.0\mu\text{m}$   $W = 300\mu\text{m}$

表 1

	#5509	#5526	#210	#870	#83
$L$	$1.0\mu\text{m}$	$1.0\mu\text{m}$	$1.0\mu\text{m}$	$0.8\mu\text{m}$	$1.0\mu\text{m}$
$W$	$1600\mu\text{m}$	$1600\mu\text{m}$	$3600\mu\text{m}$	$720\mu\text{m}$	$1820\mu\text{m}$
$a$	$6.06E-3$	$-1.0E-2$	0.353	0.367	0.233
$b$	$7.86E-2$	$7.00E-2$	$4.15E-2$	$4.9E-2$	$4.70E-2$
$c$	-2.504	-2.50	-2.656	-3.567	-2.486

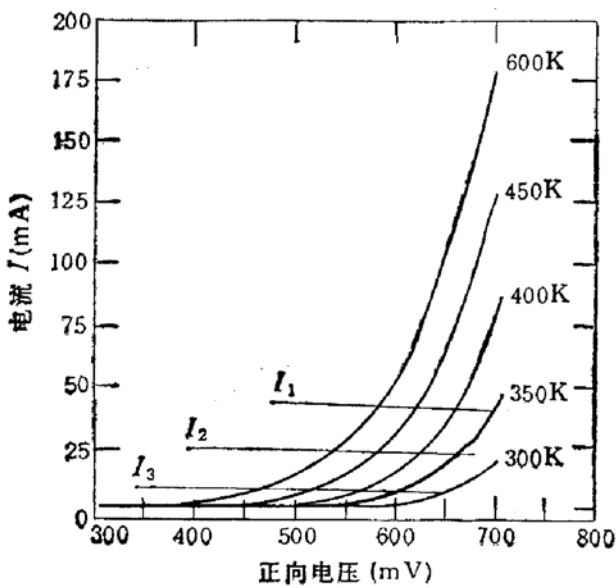


图4  $V_{gsf}(V)$  与电流  $I$  的关系

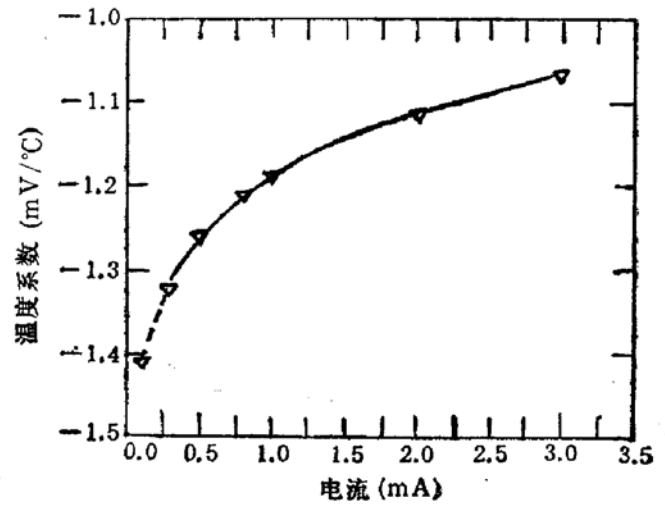


图5 实验测量和拟合的  $\alpha-I$  关系(193#)

$L = 1.0\mu\text{m}$   $W = 300\mu\text{m}$   $-K = 10^{102} \times I^{085-2.5}$  ▽ Expt.

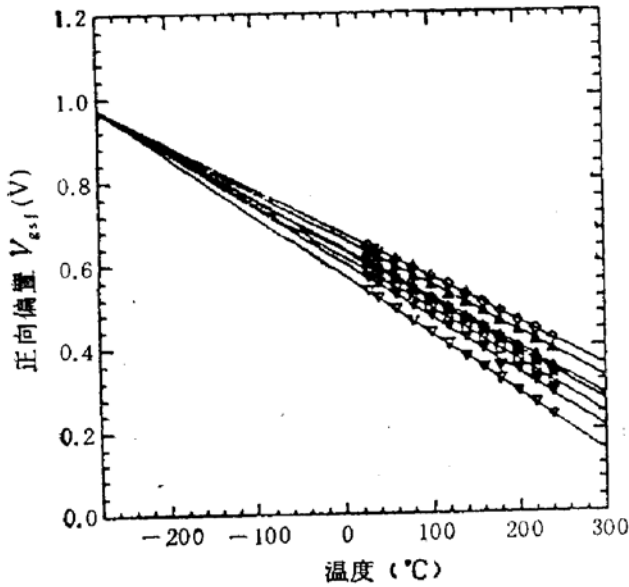


图6 不同测试电流下的聚焦特性(193#)

◇ 3mA ▲ 2mA △ 1mA ■ 800µA □ 500µA  
▼ 200µA ▽ 100µA

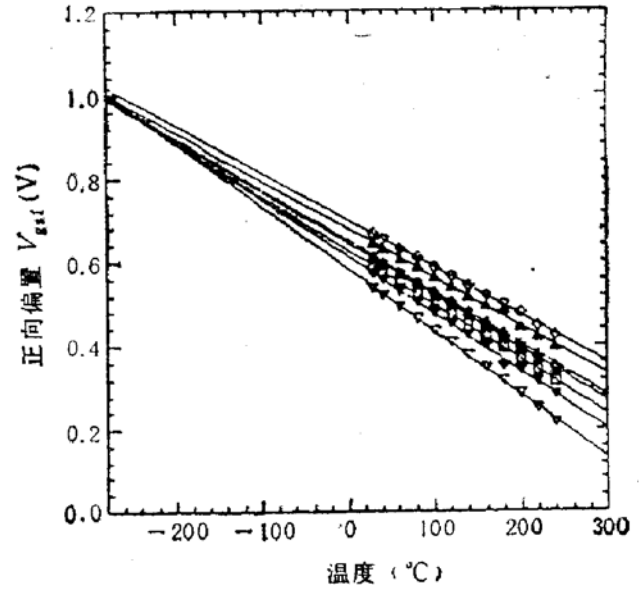


图7 870# 聚焦特性

◇ 3mA ▲ 2mA △ 1mA ■ 800µA  
□ 500µA ▼ 200µA ▽ 100µA

对  $\alpha-I$  的变化关系进行指数拟合,得到的拟合公式为:

$$\alpha = 10^a I^b + c \quad (5)$$

式中电流  $I$  的单位为 mA, 以 193 管子为例,其拟合公式中各常数为  $a=0.102$ ,  $b=0.0852$ ,  $c = -2.5$ , 其拟合曲线见图 5.

其它管子的结果见表 1. 从图可见,拟合曲线与实验点吻合的相当好. 公式(5)不同于公式(3),它只是电流的函数,与温度无关.

### 3.2 不同测试电流下 $V_{gsf}-T$ 的聚焦特性

我们将不同电流下的  $V_{gsf}-T$  实验曲线沿低温方向外推,发现曲线具有很好的聚焦特性. 图 7 是 193 管子的外推曲线. 当  $T = -273.16^\circ\text{C}$ , 即  $T = 0\text{K}$  时,所有曲线相聚一点,  $V_{gsf}$  的平均值为 965.0mV, 而其最大差值则仅为 7.2mV, 这就是说, 尽管不同电流下  $V_{gsf}$  随温度变化的线性关系不同, 但绝对零度时, 所有电流下的  $V_{gsf}$  具有相同的数值.

这种聚焦特性与器件的结构、所加的电流密度无关. 因此可以说它只与肖特基结的内在性质相关. 观察其它管子,也发现了这种聚焦特性. 但  $T = 0\text{K}$  时, 这些管子并不是很好地聚焦一点,而是有一定的聚焦范围,并且聚焦点的数值也不相同,如图 8、图 9 所示.

### 3.3 理论分析

把实验公式(5)代入实验公式(4),可得到  $V_{gsf}$  的表达式(用绝对温度表示),

$$V_{gsf} = 10^a I^b T + cT + V_{gsf0} \quad (6)$$

它是关于电流  $I$ 、温度  $T$  的函数,是由三项组成的. 第一项为正,且随电流,温度的增加而增加. 这一项可以等效成一个电阻,即

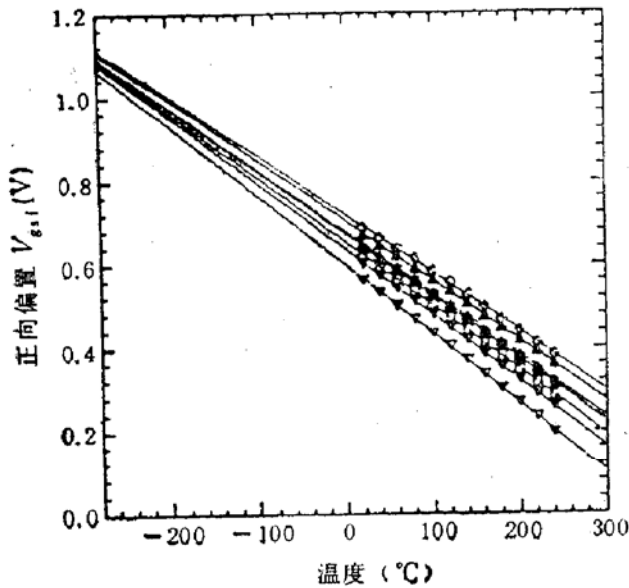


图8 5509# 聚焦特性  
 ◆ 3mA ▲ 2mA △ 1mA ■ 800µA  
 □ 500µA ▼ 200µA ▽ 100µA

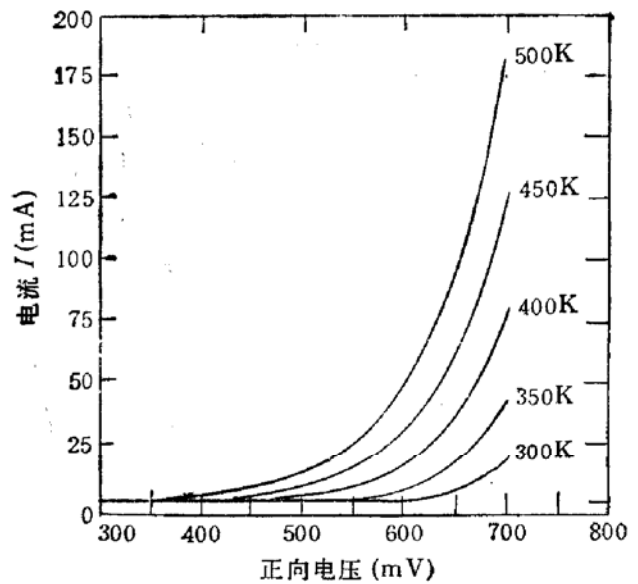


图9 实验公式所得正向肖特基特性(193#)  
 $L = 1.0\mu\text{m}$   $W = 300\mu\text{m}$   $I^* = ((V - 965.0 + 2.5 * T) / T * (10^{102}))^{1/0.0852}$

$$V = \left( \frac{10^* T}{I^{1-b}} \right) I = RI \tag{7}$$

$R = 10^* T / I^{1-b}$ . 它的温度系数为正;第二项为负,反映的是结电压随温度升高而减少,其温度系数与电流无关;第三项  $V_{gsf0}$  则是绝对零度时的肖特基结电压。

当  $T > 0K$  时,第一项正温度系数的电阻作用补偿了负温度系数的肖特基结电压的减少,且电流越大补偿的越多。  $V_{gsf}$  与温度变化的线性曲线就越缓,温度系数  $\alpha$  数值变小。当  $T = 0K$  时,  $V = V_{gsf0}$ , 无论电阻  $R$ , 温度系数以及电流是多少,肖特基结值变小。当  $T = 0K$  时,  $V = V_{gsf0}$ , 无论电阻  $R$ , 温度系数以及电流是多少,肖特基结电压都是  $V_{gsf0}$ , 反映的物理现象就是前面讨论的绝对零度时的聚焦现象。绝对零度时聚焦点的微小分散性是由于实验点的偏差造成的。可见公式(6)反映了正向肖特基结电压与电流,温度的关系,是由实验中得来,并能很好解释其变化特性的。

公式(6)与公式(1)有很大的区别。但只要对公式(6)中的  $I-V$  画图,就会发现所反映的规律的一致性,将(6)式变换为:

$$I = \left\{ \frac{V_{gsf} - V_{gsf0} - cT}{10^* T} \right\}^{(1/b)} \tag{8}$$

对不同温度  $T$ 、 $V$  下作图见图9。可见与实验上所测得的正向肖特基  $I-V$  特性是完全一样的。

另一方面也可以通过温度系数对电流的微商比较两者的一致性。分别对公式(3),公式(5)作微商:

$$\frac{d\alpha}{dI} = \frac{Snk}{qI} \tag{9}$$

$$\frac{d\alpha'}{dI} = \frac{ab}{I^{1-b}} \quad (10)$$

从前面的拟合公式中可知,  $b$  是一很小的数, 也就是说公式(1)理论结果与实验结果基本上是相符的。

尽管两者的规律是相近的, 但所依据的基础不一样。

1. 公式(1)中是在认为势垒高度  $V_b$  与  $T$  无关的条件下得到的  $K$  与  $T$  的关系。公式(6)则是从实验中得到的结果, 它包含了其它实际因素对  $V_b$  的影响。所以它更接近器件的实际规律。

2. 公式(3)中  $V_{gsf}$  与温度  $T$  不是简单的线性关系,  $\alpha$  是与  $T$  有关的。而公式(5)是一很好的线性关系。这样揭示并减化了肖特基结电压与温度本质的关系, 更有利于实际的应用。

可见, 实验公式(4)具有更可靠, 更准确的适用性。

## 4 结论

我们测量了 GaAs MESFET 肖特基正向结电压随电流的变化, 得到了  $V_{gsf}$  与温度的线性关系, 发现其温度系数与测试电流  $I$  满足指数规律及  $V_{gsf}-T$  在不同测试电流下具有聚焦特性, 即在外推到绝对零度时, 不同电流下的  $V_{gsf}$  具有相同的数值。我们把实验得到的公式与经典公式比较, 发现两者在温度系数随电流变化的性质上是一致的, 但实验公式比理论公式更具有适用性。

## 参 考 文 献

- [1] Hatsuaki Fukui, IEDM Tech. Dig., 1980, 118—121.
- [2] Bernard Siegal, Microwave System News (USA), August 1981, 108.
- [3] Masanori Nishiguchi, Mitsuaki Fujihira, Atsushi Miki, and Hideaki Nishizawa Seventh IEEE SEMI-THERM Symposium, 1991, 34.
- [4] S.Sze, "Physics of Semiconductor Devices, 2nd edition" John Wiley and Sons, 1981, 279.

## Study of Temperature Characteristic of GaAs MESFET Forward Schottky Junction

Feng Shiwei, Lü Changzhi and Ding Guangyu

(Department of Electronic Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

**Abstract** We measured and analysed the variation of forward Schottky junction voltage with temperature and found that the temperature coefficient  $\alpha = dV_{gsf}/dT$  depends on the testing current. The  $|\alpha|$  rises with the testing current  $I$ . Through regression with the experiment value, we found that the relation between  $\alpha$  and  $I$  meets the power function, and also found that the forward variation of voltage  $V_{gsf}$  with temperature has the focus feature in different testing current, e.g.  $T = 0K$ , all the  $V_{gsf}$  in different current approach the same value. From this characteristic, we give the new relation formula of forward Schottky junction  $I-V$ . It includes the real factor influence, explains the focus feature well.

**PACC:** 7330, 7340N, 7390