

SiC MESFET 微波功率测试技术

王同祥[†] 潘宏菽 李 亮

(中国电子科技集团公司第 13 研究所, 石家庄 050051)

摘要: 对 SiC MESFET 的微波测试技术进行了分析, 并针对这一采用第三代半导体材料研制的器件, 结合硅微波双极功率晶体管和 GaAs MESFET 的测试技术, 建立了 SiC MESFET 的微波测试系统, 完成了 2GHz 工作频率下瓦级功率输出 SiC MESFET 的测试, 功率增益大于 6dB, 器件的 f_T 为 6.7GHz, f_{max} 达 25GHz.

关键词: 微波功率; 测试; SiC MESFET; 输出功率

EEACC: 2560S

中图分类号: TN304.07

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)S0-0239-03

1 引言

第三代半导体材料 SiC 与常用的第一代半导体材料 Si 和第二代半导体材料 GaAs 相比, 在多个方面具有明显的优势. 其饱和漂移速度是 Si 的两倍, 击穿电场比 Si 高近十倍, 热导率也优于 Si 两倍, 本征载流子浓度远远低于 Si 和 GaAs^[1,2], 因此采用 SiC 材料研制的功率器件也越来越受到人们的关注. 国外已有微波 SiC MESFET 的系列商业产品, 国内在此方面尚属于起步阶段, 对其进行微波功率测试技术研究的报道并不多见. 我们结合自己的外延及工艺技术, 借鉴 Si 双极微波功率晶体管和 GaAs MESFET 测试系统, 开展了 SiC MESFET 的微波功率测试技术研究, 测试频率 2GHz 下, 器件连续波输出功率达 1W 以上, 功率增益高于 6dB.

2 基本理论

SiC MESFET 的工作方式既不同于第一代的 Si 微波双极晶体管也不同于第二代的 GaAs MESFET, 从而其测试方法较传统器件也会有明显不同. 为充分体现 SiC MESFET 的微波功率性能, 对其测试技术的研究, 就显得更加迫切. 国外对此类器件的功率测试一般是通过负载牵引法测得器件的最佳输出功率及此时的输入、输出阻抗, 然后根据器件的输入、输出阻抗设计出器件的放大电路. 但由于设备仪器及测试精度等问题, 国内用此法进行微波测试的单位并不多. 我们借鉴 Si 微波双极晶体管和 GaAs 微波 MESFET 的测试经验, 成功地搭建出高工作电压下的 SiC MESFET 微波测试系统, 结构框图如图

1 所示. 从框图中看似乎与一般的 MESFET 微波晶体管的测试电路一样, 但其漏偏置电源电压要远高于一般 GaAs MESFET 的偏置电压, 与目前一般的丙类工作的 Si 双极微波晶体管集电极偏置类似; 而栅偏置电源与电路的接法则类似于一般 GaAs MESFET 的偏置方法, 即结合了 Si 双极晶体管与 GaAs MESFET 测试的优点, 实现了 SiC MESFET 微波测试系统.

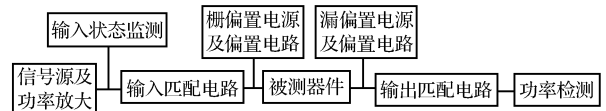


图 1 SiC MESFET 微波测试系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of SiC MESFET microwave test system

测试系统建立后, 为实现大的功率输出, 必须建立较佳的偏置工作点. 而工作点的建立往往要通过直流参数测试来初步确定.

目前, 对 SiC MESFET 的测试技术主要集中在 A 类工作, 从图 2 所示 SiC MESFET 的 $I-V$ 特性曲线可以看出, 为获得最大的输出功率, 静态工作点的设置应满足获得最大的电压幅度和电流幅度, 如图 2 的 Q 点, 即设置漏极直流偏置工作电压为 V_{DSQ} , 工作电流为 I_{DQ} , 而栅偏置电压为 $-V_{GSQ}$, 则根据图 2 所示的 $I-V$ 特性负载曲线得到理想状态下, 器件的最大输出功率为^[1]:

$$P_{max} = \frac{(V_{DSmax} - V_K)(I_{Dmax} - I_{Dmin})}{8}$$

由于 SiC MESFET 的高击穿电压特性, 使得其有较大的 $V_{DSmax} - V_K$ 值, 这为实现大功率的输出提供了良好的保障.

[†] 通信作者. Email: tongxwang@sina.com

2005-10-11 收到, 2006-01-12 定稿

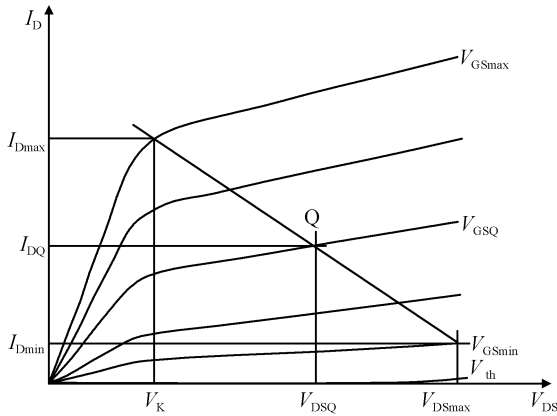


图 2 SiC MESFET 典型 $I-V$ 曲线示意图
Fig.2 SiC MESFET $I-V$ characteristic

微波功率器件除考虑尽量获得最大功率外，功

$$MAG = \frac{\left(\frac{f_T}{f_o}\right)^2}{4g_{ds}(R_g + R_i + R_s + \pi f_T L_s) + 4\pi f_T C_{dg}(2R_g + R_i + R_s + 2\pi f_T L_s)}$$

式中 $g_{ds} = 1/R_{ds}$ 为漏电导； R_g 为栅串联电阻； R_i 为源漏之间的沟道电阻； R_s 为源串联电阻； L_s 为源电感； C_{dg} 为漏栅电容； C_{gs} 为栅源电容。可以明显看出，在器件工艺一定的情况下，为提高 SiC MESFET 的功率增益，必须尽量减小器件的源引线电感 L_s ，即减小源极键合引线长度。目前高频工作的 GaAs MESFET 器件一般采用源区背面通孔接地的方式减小源电感，SiC 采用低电感量的键合引线技术接地。

在获得大功率和高增益的同时，如何测好器件的频率性能也是必须要考虑的。当然器件的频率和功率性能主要是由设计与工艺决定的，但测试技术的发展在一定程度上往往会决定器件特别是新器件的命运。在测试上，目前往往采用小信号矢量网络分析方法测出器件的特征频率和最高振荡频率，从而在一定程度上可以判断出器件的频率性能和设计及工艺水平。

由于 SiC MESFET 是一种新型器件，在工作电压和电流的选取上必须综合考虑，不断优化，才能比较好的反映出器件的真实水平，从而为大信号功率性能测试提供很好的参考。为尽快得到器件的频率性能，采用微波探针在片测试技术进行芯片频率性能的测试是目前比较流行的一种测试手段。

3 测试结果

3.1 频率性能

图 4 是对我们研制出的 SiC MESFET 进行小

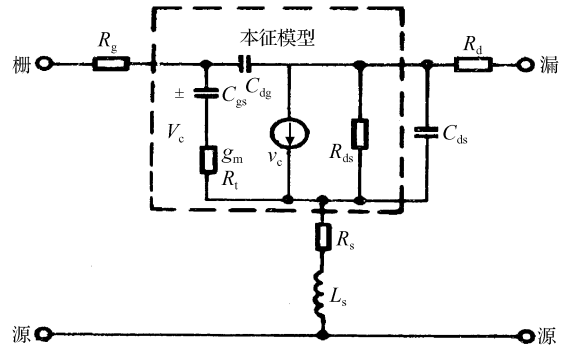


图 3 功率 FET 的等效电路
Fig.3 Equivalent circuit of power FET

率增益也是必须考虑的问题，由图 3 所示的功率 FET 的等效电路可以求出资用功率增益 MAG 为^[3]：

信号 S 参数在片实际测试的典型频率响应曲线。可以看出，该 SiC 器件的 $f_T = 6.7\text{GHz}$ ， $f_{max} = 25\text{GHz}$ 。说明该 SiC MESFET 具有较好的频率性能，但与国外同类器件相比无论是特征频率，还是最高振荡频率及增益性能等方面都有一定的差距，这也说明此器件在设计和工艺上还有进一步优化的余地，为今后工作的开展提供了有价值的参考。

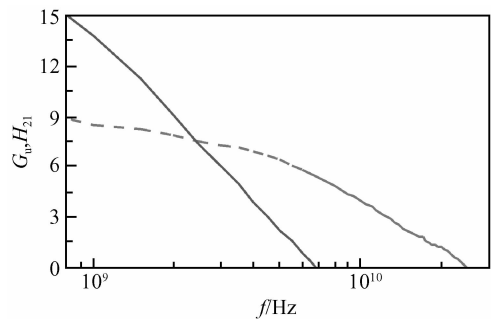


图 4 SiC MESFET G_u, H_{21} 对频率变化的典型曲线
Fig.4 Unilateral power gain G_u and current gain H_{21} versus frequency for SiC MESFET

3.2 大信号功率测试

采用图 1 所示的测试系统，对栅宽为 1mm 的 SiC MESFET 在 2GHz 频率下，进行功率性能测试，得到典型的输出功率随输入功率的变化曲线如图 5 所示。可以看出，输出功率随输入功率的变化有比较好的线性关系。当输入功率为 24dBm 时，输出功率达 30.7dBm (1.18W)；输入功率为 24.5dBm 时，输出功率为 31.1dBm (1.3W)。实现了瓦级输出

的 SiC MEFET, 功率增益大于 6.5dB.

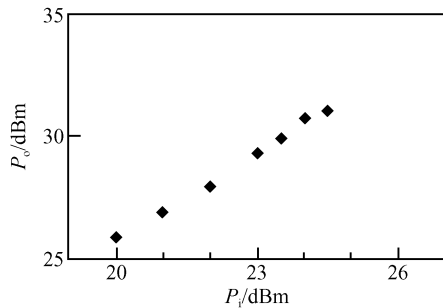


图5 SiC MEFET 输出功率与输入功率的变化关系

Fig. 5 Output power versus input power for SiC MEFET

应当注意,静态工作点的选择对器件的输出功率和功率增益等性能指标都有较大的影响.同时对测试架和偏置电路的设计与选择也是衡量测试技术好坏的一个重要指标,从某种意义上讲,测试结果是否能真实反映管芯的实际水平,是决定新型器件研发命运的关键因素,必须高度重视,仔细摸索其测试技术.

4 结论

对采用第三代半导体材料 SiC 研制的功率 MEFET 的测试方法、工作点的确定和测试系统的建立及测试技术进行了有益探讨.采用在片测试技术对 SiC MEFET 的频率性能进行了测试,器件的特征频率 $f_T = 6.7\text{GHz}$, 最高振荡频率 $f_{\max} = 25\text{GHz}$.并结合 Si 微波双极功率晶体管和 GaAs 功率 MEFET 的测试技术,建立了 SiC MEFET 的微波功率测试系统,实现了对瓦级输出功率的 SiC MEFET 的微波性能测试.在 2GHz 工作频率连续波状态下, SiC MEFET 输出功率大于 1W, 功率增益大于 6dB.

参考文献

- [1] Bertilsson K. Simulation and optimization of SiC field effect transistors. KTH Microelectronics and Information Technology, Stockholm, 2004:12
- [2] Ozpineci B, Tolbert L M. Comparison of wide-bandgap semiconductors for power electronics applications. OAK Ridge National Laboratory, 2003:12
- [3] Li Xiaobai. GaAs microwave power FET and its ICs. Beijing: Science Press, 1998:2 (in Chinese) [李效白. 砷化镓微波功率场效应晶体管及其集成电路. 北京: 科学出版社, 1998:2]

Microwave Power-Tested Technology of SiC MEFET

Wang Tongxiang[†], Pan Hongshu, and Li Liang

(The 13th Research Institute, CETC, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: The microwave testing system of SiC MEFET is analyzed. For the device based on the third era semiconductor, the microwave testing system of SiC MEFET is established associating to the testing technology of Si and GaAs MEFET. The test of watt level power output is accomplished under the working frequency of 2GHz. The result is that the power gain is greater than 6dB, the f_T is 6.7GHz, and f_{\max} achieves 25GHz.

Key words: microwave power; testing; SiC MEFET; output power

EEACC: 2560S

Article ID: 0253-4177(2006)S0-0239-03

[†] Corresponding author. Email: tongxiang@sina.com

Received 11 October 2005, revised manuscript received 12 January 2006