

文章编号:1001-9014(2005)06-0419-03

3mm 波段集成振荡器研究

何宗锐, 唐小宏, 张显静

(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 610054)

摘要:描述了一种3mm波段集成振荡器,该振荡器由雪崩二极管、微带谐振器、阻抗匹配器、鳍线过渡组成.通过对3mm波段集成振荡器进行理论分析和实验研究,最终在国内首次采用3mm连续波雪崩二极管成功研制出微带集成振荡器,工作频率为94.78GHz,输出功率大于7mW.

关键词:毫米波;集成振荡器;雪崩二极管

中图分类号:TN752.7 **文献标识码:**A

RESEARCH ON 3mm BAND INTEGRATED OSCILLATOR

HE Zong-Rui, TANG Xiao-Hong, ZHANG Xian-Jing

(University of Electronic science and technology of China EE School, Chengdu 610054, China)

Abstract:A 3mm band integrated oscillator is researched, which is consisted of a IMPATT diode, a microstrip resonator, and a fin-line transition. With the theory analysis and research, China's first 3mm band integrated oscillator using the W-band CW IMPATT diode, was made. It delivers a output power of 7mW at 94.78GHz.

Key words:millimeter wave; integrated oscillator; IMPATT diode

引言

毫米波波段是非常重要的频谱资源,具有频带宽、传输信息容量大、系统体积小等优点,因而在通讯、精确制导、雷达等方面都得到广泛应用,国内已成功研制出3mm波段FMCW近程雷达^[1].但是,目前国内所应用的3mm振荡器大多是波导腔体结构,在弹载、星载和机载平台上应用显然有非常大的局限性,故发展3mm集成振荡器有着重要意义.据文献^[2]报道,D. C. SMITH等人在1983年利用InP二极管研制成功输出功率达16mW,工作频率为80~83GHz的集成振荡器.此前国内代文亮等人采用Gunn二极管对W波段集成振荡器进行了研究^[3],但是由于Gunn二极管谐波输出功率的限制,其输出功率较低.因此本文选用了雪崩二极管,采用混合集成的方式来实现3mm波段集成振荡器,以期将来国内发展3mm集成振荡器奠定基础.

1 雪崩二极管阻抗分析

1.1 负阻振荡器的平衡条件

由负阻振荡器的一般等效电路可知:在负阻器

件两端外接谐振电路,满足振荡器的起振条件时,当电路中有某一冲击或噪声(一般为电源开关的冲击脉冲),使之产生一“小信号”,如满足振荡条件,则振荡幅度逐渐增加.由于电路的非线性特性,而后使振荡幅度达到某值,处于振荡平衡条件.

负阻振荡器起振后,振荡幅度不可能一直增长,随着振荡幅度增长,负阻 $|R_D| = r$ (外接回路损耗电阻)时,达到平衡,实现稳幅振荡.

振荡平衡的复数表达式为

$$[Z(\omega) - Z_D(I)] = 0$$

1.2 雪崩二极管阻抗分析

本文使用的雪崩二极管,其阻抗除了与其本身的阻抗有关外,还与它的外部封装参数有很大关系.

其各部分参数值如下:

管芯负阻: $R_D = -25\Omega$;

管芯电容: $C_D = 0.2\text{pF}$;

封装电感: $L_S = 0.08\text{nH}$;

封装电容: $C_P = 0.1\text{pF}$.

本文采用并联形式的二极管等效电路^[4],再用MatLab编程进行计算.其计算结果如图1所示.

由计算结果可见,封装以后的雪崩二极管参数

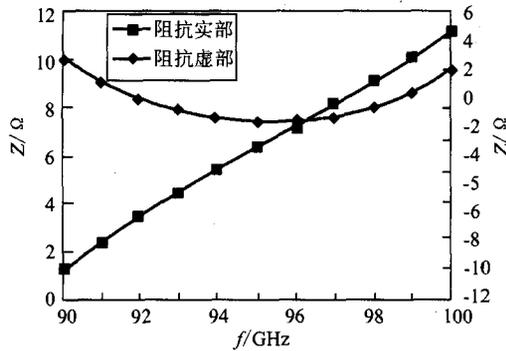


图1 雪崩二极管等效阻抗实部变化
Fig.1 IMPATT equivalent impedance real part change

在频率为 95GHz 时,它的阻抗实部约为 -8Ω ,虚部变化不大,约为 -72Ω .

2 外电路的分析与设计

2.1 微带谐振器的设计

为了便于起振,设计外部电路时应主要考虑与雪崩二极管的阻抗匹配问题.采用的基片为 Rogers 5 880,其参数为:介电常数 $\epsilon_r = 2.22$;厚度 $H = 0.127\text{mm}$;损耗正切角 $\tan\delta = 0.0009$;金属条带厚度 $t = 0.008\text{mm}$.

选用终端开路半波长整数倍的谐振器,其电长度为 $\frac{1}{2}\lambda_g$.从第二章的分析可知,雪崩二极管外接电路阻抗实部要小于 8Ω (主要是便于雪崩二极管起振),虚部约等于 72Ω .

通过计算和仿真,采用的微带线谐振器和交指线隔直装置.其拓扑图如图 2 所示.

由于选择的加工工艺线宽仅能做的 0.05mm ,缝宽仅能做到 0.1mm ,所以它的插损比较大.同时,该振荡器采用的外部腔体尺寸约为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 5\text{mm}$,在 3mm 波段,可以忽略其影响.采用 ADS 对谐振器及隔直装置 S 参数进行了仿真,其结果如图 3 所示.

根据仿真所得 S 参数,我们可以得出其输入阻抗实部为 7.4Ω 和虚部为 -3Ω ,如图 4 所示.

在频率为 95GHz 时,应当考虑金带对于雪崩二

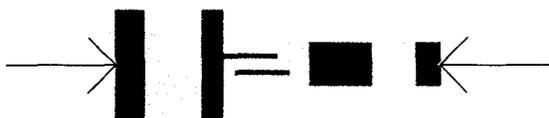


图2 谐振器和隔直装置拓扑图
Fig.2 Layout of Resonator and DC block

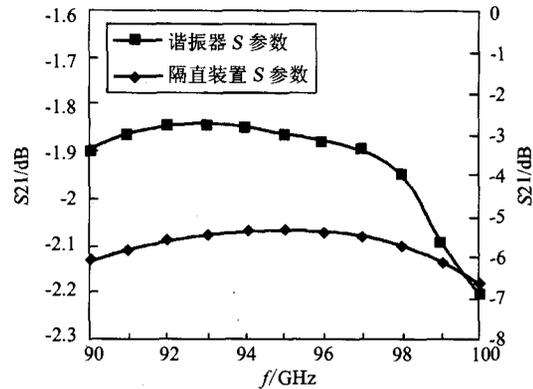


图3 谐振器和隔直装置的 S 参数
Fig.3 S-parameter of Resonator and DC block

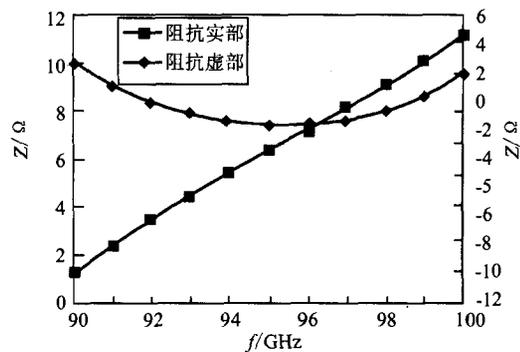


图4 负载阻抗实部和虚部
Fig.4 Real and imagine of load impedance

极管的虚部的影响,根据文献[5,6]提出的经验公式:

$$L = 0.002l(2.303 \times \lg(4l/d) - 1) \quad (\text{uH})$$

其中: d 为金带直径(单位:cm); l 为金带长度(单位:cm).

本文采用的两根金带直径为 $d = 25\mu\text{m}$,长度 $l = 0.4\text{mm}$.经计算得 $L = 0.25\text{nH}$,金带的电感为: 75.4j .

可见,雪崩二极管看出去的负载阻抗为 $7.4 + \text{j}72.4(\Omega)$.

故微带谐振器和交指形隔直装置的输入阻抗实部和虚部都满足 IMPATT 二极管起振的要求.

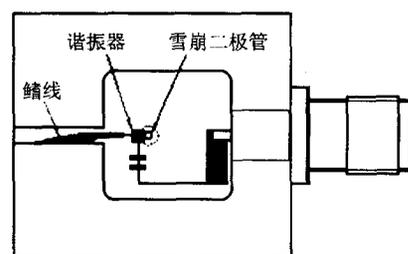


图5 3mm 波段集成振荡器电路拓扑结构
Fig.5 Layout of 3mm band integrated oscillator

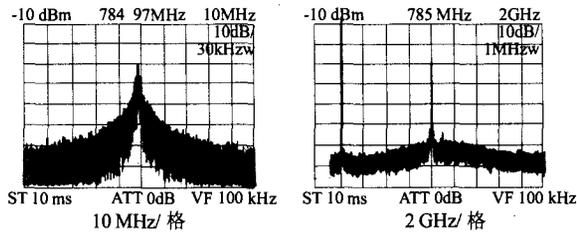


图 6 振荡器输出功率的中频频谱
Fig. 6 Spectrum of oscillator output

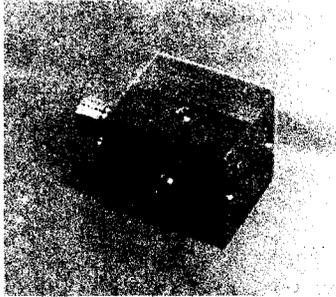


图 7 3mm 波段集成振荡器实物图
Fig. 7 3mm band integrated oscillator

根据以上分析和仿真,本文所设计的雪崩振荡器的电路拓扑结构如图 5 所示。

其中馈电由一低通滤波器接入到微带谐振器上,通过两根金带到雪崩二极管。

3 实验结果

如图 6 所示,该频谱是通过与一个 94GHz 的本振混频以后得到的中频频谱,所得频率应为 94.78 GHz,采用 KDZ—PA 毫米波功率计测出输出功率为 7mW。其工作电压为 17V,工作电流为 150mA。

本文设计的雪崩振荡器实物图如图 7 所示,其尺寸为 19mm × 19mm × 22mm (不含 SMA 馈电接头)。

4 结语

从以上的实验结果及测试数据可以看出,本文研制的 3mm 波段集成振荡器设计频率为 95GHz,输出频率为 94.78GHz,输出频率与设计频率基本吻合,输出功率达到 7mW,能够满足低势垒混频二极管的本振要求。但是,由于微带电路加工工艺的原因,使得本文设计的交指线隔直装置在 W 频段插损较大,因此输出功率偏低。如果采用更好的微带线加工工艺,可以增加输出功率。同时,由于微带线谐振器的 Q 值较低,输出频谱中的相位噪声也比较大。采用其它稳频方式可以提高输出频谱的相位噪声。在试验中还观察到负载牵引对振荡器的工作有一定影响,应此在实际应用中输出应当加上隔离器。

REFERENCES

- [1] LOU Guo-Wei, LI Xing-Guo, WU Wen. FMCW Short-range radar of 3mm wave band [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (娄国伟,李兴国,吴文.3mm 波段 FMCW 近程雷达的研究. *红外与毫米波学报*), 2001, 20(2): 117—119.
- [2] SMITH D C, SIMMONS T J. Fully integrated W-band microstrip oscillator [J]. *Electronics Letters* 17th March, 1983, 19: 222—223.
- [3] DAI Wen-Liang. Research of W-band microstrip integrated harmonic oscillator [D]. UESTC Master Dissertation (代文亮.3mm 波微带集成谐波振荡器研究,电子科技大学硕士论文).
- [4] HUANG Xiang-Fu, CHENG Tian-Qi, ZHANG Kai-Zhi. *Microwave Solid Circuits* [M]. Beijing: National Defense Industry Publishing House (黄香馥,陈天麒,张开智. *微波固体电路*.北京:国防工业出版社), 1988, 195—201.
- [5] Belcourt Fetal. Electrical CAD analysis for multilayer package design [C]. ISHM Integrated W-Band Microstrip Conference Atlantia Georgera, 1986, 802—807.
- [6] REN Huai-Long. Modeling and analysis of high density packing [J]. *J. Microelectronics* (任怀龙.高密度封装的建模分析. *微电子学报*), 1984, 24(5): 44—48.