

# W波段宽带机械调谐体效应振荡器

李羲之

(中国科学院电子学研究所,北京 100080)

**摘要** 本文介绍利用 WT57 GaAs 体效应管研制的W波段宽带机械调谐振荡器.连续调谐范围为 75—110GHz. 在带宽为 10—15GHz 的中心频段,可输出大于 10mW 的功率. 并对振荡器的偏压电子调谐特性进行了实验研究.

**关键词** 毫米波固态源;体效应振荡器;宽带机械调谐;偏压调谐

## 1. 引言

体效应振荡器作为毫米波信号源获得广泛应用. 目前许多研究工作仍致力于发展宽带调谐的毫米波体效应振荡源以及毫米波功率合成器<sup>[1-3]</sup>. 特别是我国在耿氏器件的研制方面有了长足的进步<sup>[4,5]</sup>,为发展毫米波固态源提供了有利条件. 对于 GaAs 体效应振荡器,当频率高于约 70GHz 时,通常提取谐波功率. 本文介绍采用国产 GaAs 体效应管研制的 3mm 宽带谐波振荡器,在性能上可与国外同类器件相比. 调谐范围覆盖整个

W波段. 在中心频段输出 10—20mW 的功率. 本文着重阐述振荡器结构参数的选择和实验结果.

## 2. 振荡器结构

振荡器结构如图 1 所示,基本设计与文献 [1] 相似,为典型的帽耦合结构. 为了减小接触热阻,体效应管直接固定在波导底面中央. 振荡器包括两个可调腔:其一为工作在基波频率的同轴腔,通过改变腔长  $l$ ,基波频率的调谐范围为 37.5—55GHz;另一为半高 WR-10 波导腔,通过改变波导短路活塞的位置,有效地耦合出 75—110GHz 的二次谐波功率. 由于基波频率总是低于波导的截止频率,振荡器的工作状态对于负载阻抗的变化不敏感,系统中可以省去

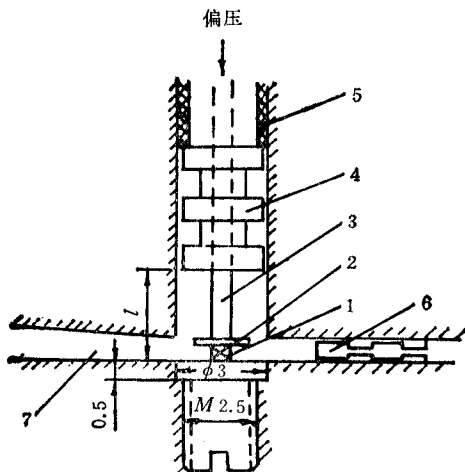


图 1 振荡器的结构示意图

1——WT57 体效应二极管; 2——径向圆盘; 3——中心导体; 4——同轴偏压扼流滤波器; 5——绝缘材料; 6——半高 WR-10 波导短路活塞; 7——过渡波导

一只宽带隔离器. 可调同轴短路活塞为四节非接触偏压扼流滤波器,利用 CAD 最优化

设计使其在基波和二次谐波频段内均呈现较为理想的短路特性。径向圆盘在基波频率产生附加容抗,降低振荡频率。对于二次谐波,圆盘半径  $r \approx \lambda/4$ ,其作用相当于一个径向线阻抗变换器,其阻抗变比主要取决于圆盘的高度,其次取决于圆盘的半径和厚度<sup>[6]</sup>。绝缘材料为一种复合聚四氟乙烯,表面光滑且对微波有一定的吸收作用。在调谐机构中装有精密直线运动轴承以改善调谐机构的重复性和平稳度。

### 3. 实验结果

在实验过程中共研制 5 只结构相似的振荡器。圆盘直径为 1.8—2.2mm,厚度为 0.15 mm,到波导底面的距离等于管高,约为 0.5mm,中心导体直径为 0.8mm。所用振荡管全部为南京固体器件研究所提供的商用 WT57 6mm GaAs 体效应管。表 1 列出所用管子的出厂参数,圆盘尺寸以及输出大于 10mW 的频率范围。多数情况下,振荡器的连续调谐范围为 75—110GHz,在带宽为 10—15GHz 的中心频段内,可给出 10mW 以上的功率。功率测量采用 PS-28-6 功率计探头,60—110GHz 的测试精度为  $\pm 7\%$ <sup>[7]</sup>。

表 1 振荡器概况

振荡器 编号	WT57 体效应二极管出厂参数					圆盘直径 $\phi$ (mm)	10mW 输出 频率范围 (GHz)
	$R_0(\Omega)$	$V_{op}(V)$	$I_{op}(A)$	$f(\text{GHz})$	$P(\text{mW})$		
No.1	0.51	3.5	1.08	47.6	105	1.9 2.2	83—95 76—92
No.2	0.47	2.8	1.3	46.9	74	1.8	86—97
No.3	0.95	3.5	0.72	46.2	65	2.0	79—96.5
No.4	0.57	3.5	1.26	46.3	105	1.9	81—96
No.5	0.48	3.5	1.25	47.7	86	1.9	90—97

(1) 圆盘几何尺寸对调谐特性和输出特性的影响 实验中发现金属圆盘的尺寸对振荡器的调谐特性和输出特性有较大的影响。图 2 示出了 No.1 振荡器的频率随同轴腔长度  $l$  变化的曲线,圆盘直径分别为 1.6mm, 1.9mm 和 2.2mm。腔长相同时,振荡频率因圆盘直径的增加而降低,原因在于圆盘的附加容抗增加了同轴腔的有效长度。图 3 示出 No.1 和 No.5 二振荡器输出功率随频率的变化,在 80GHz 附近总是存在着一个大

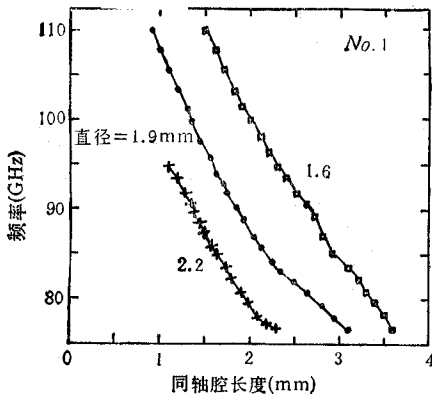


图 2 振荡频率随同轴腔长度变化的曲线

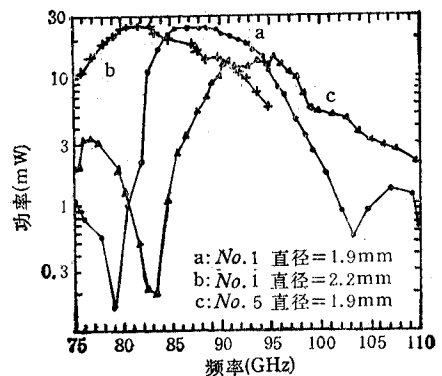


图 3 输出功率随频率变化的曲线

的功率跌落,说明在谐波频率上可能发生谐振<sup>[4]</sup>。其中 No.1 振荡器在 84.6—91.6GHz 的频率范围内输出 20—26mW (曲线 a)。把圆盘直径从 1.9mm 增加到 2.2mm 而保持其它条件不变时,中心频段明显移向低端(曲线 b: 79—85GHz,  $P > 20\text{mW}$ ),功率跌落点由原来的 79GHz 降到 75GHz 附近。把圆盘直径减小到 1.6mm 时,功率跌落点移至 82.6GHz (图中未示出)。但高端 (94—110GHz) 的输出没有得到明显改善。总之,振荡器的性能与选用的振荡管有关,即使两只振荡管的基波参数相近,它们的谐波特性仍可能有较大的差异。合理的调整径向圆盘的尺寸和相对位置,能够调整振荡器的输出特性和调谐特性,并有可能使功率跌落点避开所希望的工作频段。

(2) 偏压电子调谐 在需要频率调制,自动稳频或扫频的系统中,往往要求信号源具备电子调谐功能。体效应振荡器有三种常用的电子调谐方式:即偏压调谐,变容二极管调谐和 YIG 调谐。其中偏压调谐最为简便。例如,只要给振荡器以合适的锯齿波扫描偏置电压,就可以构成一个窄带的扫频源。推频系数和连续调谐频率范围是描述偏压调谐特性的两个重要参数。利用固定偏压测法,难以排除温度效应的影响,我们采用的是锯齿波偏置法,这种方法的优点在于在整个测试过程中器件的温度维持恒定,同时便于观察调谐的连续性。测试系统如图 4 所示。实验中锯齿波偏置的扫描幅度为 0.9V,重复频率为 125Hz,偏置电压上限不超过 5V 以防损坏振荡管。图 5 为示波器显示,上部为检波

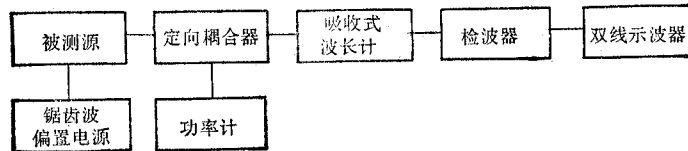


图 4 偏压电子调谐特性测试系统

器输出波形,下部为偏压波形。图 5(a) 表示当波长计谐振频率偏离扫频范围时,检波器输出无吸收现象发生。当检波特性为已知时,检波波形也代表功率随偏压以及频率的变化。图 5(b),(c) 表示波长计指示的频率处于扫频范围之内。根据吸收谷的位置可知相应的偏压值,相应的频率由波长计的指示读出。图 5(d) 表示当扫描偏压的起点选择过低,低于某电压值时,振荡呈现不稳定状态并发生频率和功率跳变,这个电压规定了偏压的下限。最后得到被测源的偏压调谐特性如图 6 所示,在 91.8GHz 附近的推频系数为 420MHz/V,连续电调带宽为 210MHz,功率变化为 0.8dB,偏压变化范围为 3.73—4.23V。先后对 5 只振荡器进行了测试,典型的调谐范围为 200—400MHz,推频系数为 300—700MHz/V,输出功率的变化小于 3dB。实验中发现偏压调谐特性不仅与选用的振荡管有关,也会因工作频率的不同而异。输出功率随偏压和频率的改变有较大的起伏,这些是偏压电子调谐的不足之处。图 7 示出 No.1 振荡器在 90GHz,94GHz 和 100GHz 附近的偏压调谐特性。

(3) 频谱和频稳 利用 HP8565A 频谱分析仪观测振荡器频谱并检查调谐的连续性,无杂模振荡出现和跳模现象发生。振荡器的长期频率稳定度不低于  $10^{-5}$  量级。No.3 振荡器直接作为肖特基谐波混频器的本振源用于远红外激光检测实验,将其产生的

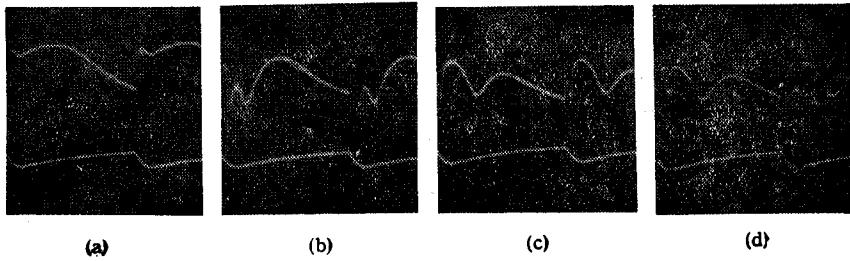


图 5 示波器显示

上部波形为检波输出,下部波形为锯齿波扫描偏压  $V_b$   
 (a)  $f_0 = 92.5\text{GHz}$ ,  $V_b = 3.7\text{--}4.6\text{V}$ ; (b)  $f_0 = 91.7\text{GHz}$ ,  $V_b = 3.7\text{--}4.6\text{V}$  (c)  $f_0 = 91.8\text{GHz}$ ,  $V_b = 3.7\text{--}4.6\text{V}$ ; (d)  $f_0 = 91.8\text{GHz}$ ,  $V_b = 3.5\text{--}4.4\text{V}$   
 这里  $f_0$  为波长计读数.

93.16GHz 的本振信号的 15 次谐波与频率为 1397GHz 的  $\text{CH}_2\text{F}_2$  激光谱线辐射信号混频,经 50—550MHz 场效应放大器放大,在 TK2373 频谱分析仪上观测到信噪比大于 20dB 的差频信号.

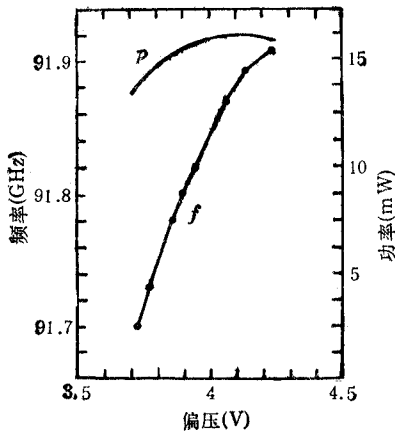


图 6 振荡器频率和功率随偏压变化的曲线

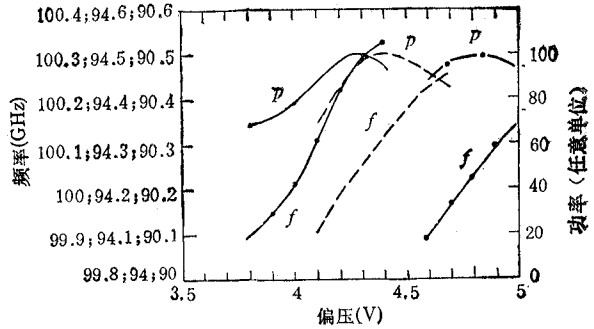


图 7 No.1 振荡器在三个频率附近的偏压调谐特性  
 ——100GHz    - - - - -94GHz    - · - · - 90GHz

#### 4. 结束语

利用 WT57 6mm 体效应管研制出 W 波段宽带调谐体效应振荡器,并提出一种偏压电子调谐的测试方法. 这种宽带调谐振荡器可作为微波实验室的通用毫米波信号源, 特别适用于频响测试. 利用偏压电调特性可以很方面地构成低噪声, 高频稳的锁相源或窄带的电调信号源. 至今已获得多方面的应用, 用于毫米波射电天文和毫米波通信的实验系统, 高温超导薄膜微波特性的研究, 以及远红外激光频率定标实验.

本项工作得到南京固体器件研究所邓衍茂高级工程师的热情支持, 专门提供了 M2.5 结构的 6mm 体效应二极管; 国防科工委第二计量测试中心徐德忠高级工程师在毫米波功率测量方面给予协助; 中国科学院紫金山天文台肖可成等同志提供了有关振荡器频谱和频稳的测试情况; 中国科学院上海技术物

理所周宝庆副研究员提供了振荡器用于远红外激光频率定标的实验结果;在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] J. E. Carlstrom et al., *IEEE Trans. on MTT*, **MTT-33**(1985) 7, 610—619.
- [2] A. Rydberg, *Int. J. Infrared and Millimeter Waves*, **11**(1990) 3, 383—403.
- [3] 薛呈添,王乔敏,电子科学学刊,**11**(1989)2,215—220.
- [4] 陈效建,固体微波,1978年,第6期,第9—13页.
- [5] 邓衍茂,固体电子学研究进展,**6**(1986)3,189—195.
- [6] K. H. Doring, E. Seebald, *Electron. Lett.*, **16**(1980) 1, 50—51.
- [7] Dorado Co., *Microwave Journal*, **31**(1988) 5, 398.

## W-BAND GUNN OSCILLATORS WITH WIDE MECHANICAL TUNING RANGE

Li Xizhi

(*Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

**Abstract** Continuously tunable 75—110 GHz Gunn Oscillators have been developed with WT 57 GaAs diodes. In most cases, the oscillators can offer 10—20 mW output power over a bandwidth of 10—15 GHz. The characteristics of bias electronic tuning are tested using the bias sweep method.

**Key words** Millimeter wave solid source; Gunn oscillator; Mechanical tuning; Bias tuning