

近代物理实验报告

实验 7-1: 压电效应振荡器的工作特性和波导管的工作状态

姓名: 付大为

学号: 1800011105

邮箱: fudw@pku.edu.cn

近代物理实验 (I)

(2021, 秋季学期)

北京大学

物理学院

2018 级 1 班

2021 年 10 月 10 日

摘 要

微波是波长很短、频率很高的电磁波，由于它具有一系列特殊的性质，因而在国防、通讯、工农业生产、科学研究以及日常生活中得到广泛的应用。微波通常由一些特殊的微波电子管（如反射式速调管、磁控管等）产生。20 世纪 60 年代以后，出现了各种类型的微波半导体振荡器（如体效应振荡管和雪崩振荡器等）。本实验中使用的信号源就是用体效应振荡器产生微波振荡的。微波在波导管中的传播情况，可以归纳为三种传播状态：匹配状态、驻波状态和混波状态。波导中传播的相速度大于光速。而晶体检波律一般认为为平方律，即 $n=2$ 。

关键词：微波, 体效应振荡器, 波导, 晶体检波律

目 录

1 引言	4
2 理论	5
3 实验	6
3.1 实验仪器	6
3.2 简要实验步骤	6
4 结果及讨论	7
4.1 测量体效应振荡器的工作电压于工作电流、输出功率及频率的特性曲线	7
4.2 练习调节匹配, 测量小驻波比和中驻波比	8
4.2.1 测量小驻波比并计算反射系数	8
4.2.2 测量中驻波比并计算反射系数	8
4.3 测量波导波长	9
4.4 测量检波晶体管的 $I - E $ 曲线, 确定晶体检波律 n	10
4.4.1 驻波曲线 $I(x)$	10
4.4.2 检波晶体管的 $I - E $ 曲线	11
4.4.3 确定晶体检波律 n	12
5 结论	13
6 实验报告思考题	13
6.1 在 $a = 23.0mm$ 、 $b = 10.0mm$ 的矩形波导管中能不能传播 $\lambda = 2cm$ 、 $3cm$ 和 $5cm$ 的微波? 各能传播哪些波型?	13
7 致谢	13

1 引言

- **体效应二极管**适当放置在高 Q 谐振腔中，构成谐振电路，以便产生微波振荡。振荡器的体效应管都是工作在渡越时间模式或者畴模式。振荡频率主要取决于体效应管芯片的有源区长度、杂质浓度和谐振腔的设计
- **本实验**的目的要求是：
 - ① 了解体效应振荡器的结构、工作原理和工作状态及波导管的三种工作状态；
 - ② 掌握微波的三种基本参量的测量方法、测量波导波长、确定波导管中波传播的相速、群速和光速；
 - ③ 测量和检验晶体平方律。

2 理论

- 测量驻波比

对于小驻波比，在满足晶体检波平方律的条件下，有：

$$\rho = \frac{E_{max\ 1} + E_{max\ 2} + \cdots + E_{max\ n}}{E_{min\ 1} + E_{min\ 2} + \cdots + E_{min\ n}} = \frac{\sqrt{I_{max\ 1}} + \sqrt{I_{max\ 2}} + \cdots + \sqrt{I_{max\ n}}}{\sqrt{I_{min\ 1}} + \sqrt{I_{min\ 2}} + \cdots + \sqrt{I_{min\ n}}} \quad (1)$$

对于中驻波比，则有：

$$\rho = \frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{\sqrt{I_{max}}}{\sqrt{I_{min}}} \quad (2)$$

而统一地对于反射系数，计算公式为

$$|\Gamma_0| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} \quad (3)$$

- 测量波导波长：

为了准确测定极小点的位置，可采用平均值法，即测量极小值附近两点（此两点在指示器的输出相等）的距离坐标，然后取这两点坐标的平均值，就得极小点坐标：

$$x_{min} = \frac{1}{2}(x' + x'') \quad (4)$$

波导波长 λ_g 可由两个极小点的距离决定，即

$$x_{min\ 2} - x_{min\ 1} = \frac{1}{2}(x'_2 + x''_2) - \frac{1}{2}(x'_1 + x''_1) = \frac{1}{2}\lambda_g \quad (5)$$

$$\lambda_g = (x'_2 + x''_2) - (x'_1 + x''_1) \quad (6)$$

实验中用平均值法测量三个相邻波节的位置，在保证 $\Delta(\lambda_g/2) \leq 0.10mm$ 的条件下，确定波导波长。利用频率计测量相应的频率，再用公式

$$\lambda = \frac{\lambda_g}{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_g}{2a}\right)^2}} \quad (7)$$

算出自由空间波长 λ 并求光速 c 、相速度 v_g 和群速度 u 。

3 实验

3.1 实验仪器

- 固态源
- 隔离器
- 衰减器
- 吸收式频率计
- 驻波测量线
- 单螺调配器
- 隔离器
- 衰减器
- 晶体检波接头

3.2 简要实验步骤

分为以下几个步骤:

- ① 观测体效应振荡器的工作特性
- ② 观测波导管的工作状态
- ③ 练习调节匹配, 测量小驻波比和中驻波比
- ④ 测量波导波长
- ⑤ 确定晶体检波律 n

4 结果及讨论

4.1 测量体效应振荡器的工作电压于工作电流、输出功率及频率的特性曲线

按下“教学”方式键，保持“频率”钮位置不变。通过“电压”调节钮，在 $0 \sim 13.0\text{V}$ 范围内连续改变体效应管的工作电压，并得到相应的工作电流显示。同时，通过测量装置中的频率计和光电检流计 B ，测出微波频率和相对功率如下图1。

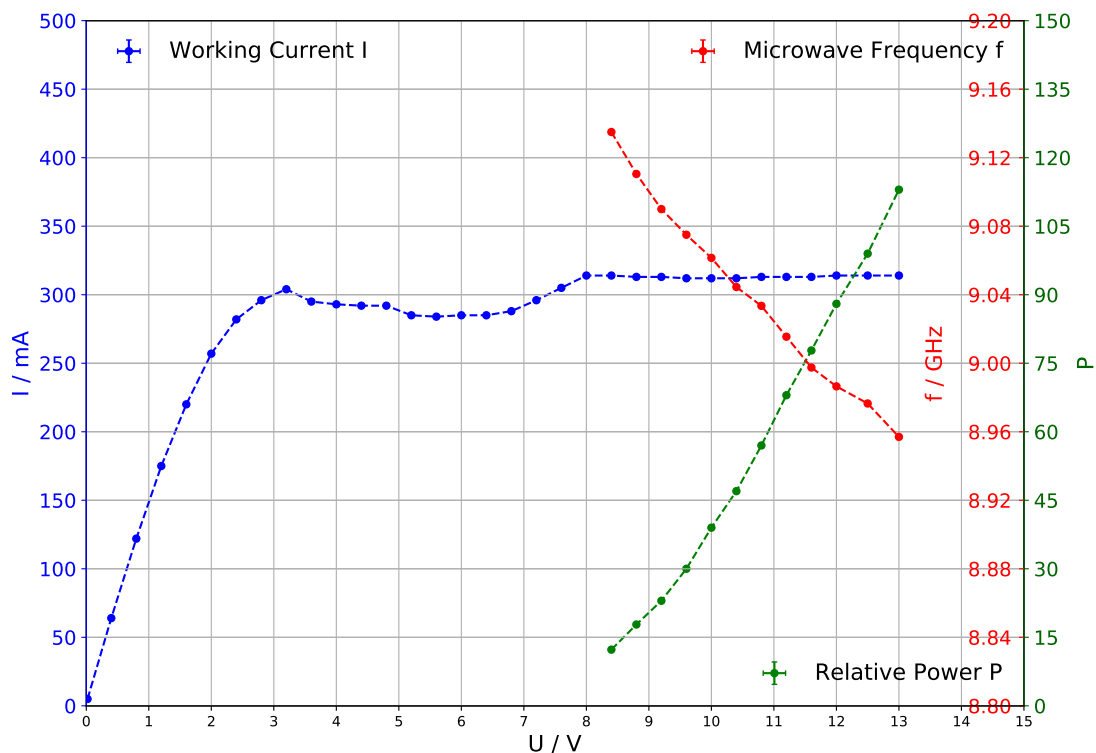


图 1: 体效应振荡器的工作电压与工作电流、输出功率及频率的特性曲线

我们在图中可以观察到 Gunn 效应，以及在一定阈值以上才会观测到相对功率和微波频率

4.2 练习调节匹配，测量小驻波比和中驻波比

在“等幅”状态下，使频率显示为 9.000GHz，体效应管的工作电压为标准电压。调整好驻波测量线，然后在当前频率下进行观测波导管工作状态的实验。

4.2.1 测量小驻波比并计算反射系数

测量结果如下表

表 1: $f = 9.000\text{GHz}$, $U = 11.98\text{V}$, $\rho < 1.10$, 最佳匹配状态

i	极小电流 $I_{\min i}$ / 格	极大电流 $I_{\max i}$ / 格
1	52.8	60.1
2	53.1	60.0
3	53.2	59.8

我们这里认为检波晶体满足平方律则有

$$\rho = \frac{E_{\max 1} + E_{\max 2} + \cdots + E_{\max n}}{E_{\min 1} + E_{\min 2} + \cdots + E_{\min n}} = \frac{\sqrt{I_{\max 1}} + \sqrt{I_{\max 2}} + \cdots + \sqrt{I_{\max n}}}{\sqrt{I_{\min 1}} + \sqrt{I_{\min 2}} + \cdots + \sqrt{I_{\min n}}} = 1.06 \quad (8)$$

$$|\Gamma_0| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} = 0.03 \quad (9)$$

4.2.2 测量中驻波比并计算反射系数

测量结果如下表

表 2: $f = 9.000\text{GHz}$, $U = 11.98\text{V}$, $\rho = 2 \sim 3$, 混波状态

极小电流 I_{\min} / 格	极大电流 I_{\max} / 格
2.01	112.0

我们这里认为检波晶体满足平方律则有

$$\rho = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{\sqrt{I_{\max}}}{\sqrt{I_{\min}}} = 2.36 \quad (10)$$

$$|\Gamma_0| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} = 0.40 \quad (11)$$

4.3 测量波导波长

取极小值附近输出 $I = 10$ 格的两点 ($I_{max} > 110$ 格), 测量结果如下表

表 3: $f = 9.000\text{GHz}$, $U = 11.98\text{V}$, $\rho = 2 \sim 3$, 三个相邻波节位置

i	x'_i/mm	x''_i/mm	x_{min}/mm
1	110.2	114.5	112.35
2	134.6	139.0	136.8
3	159.0	163.4	161.2

我们可以由上表算出波导波长

$$\lambda_g = 48.85mm \quad (12)$$

然后得到自由空间波长

$$\lambda = \frac{\lambda_g}{\sqrt{1 + (\frac{\lambda_g}{2a})^2}} = 33.38mm \quad (13)$$

又记下 $f = 8.984\text{GHz}$, 则得到相速度

$$v_g = \lambda_g f = 4.389 * 10^8 m/s \quad (14)$$

同时算出光速

$$c = \lambda f = 2.999 * 10^8 m/s \quad (15)$$

则群速度为

$$u = \frac{c^2}{v_g} = 2.049 * 10^8 m/s \quad (16)$$

4.4 测量检波晶体管的 $I - |E|$ 曲线，确定晶体检波律 n

4.4.1 驻波曲线 $I(x)$

测量两个相邻波节之间的驻波曲线 $I(x)$ ，结果如下图2.

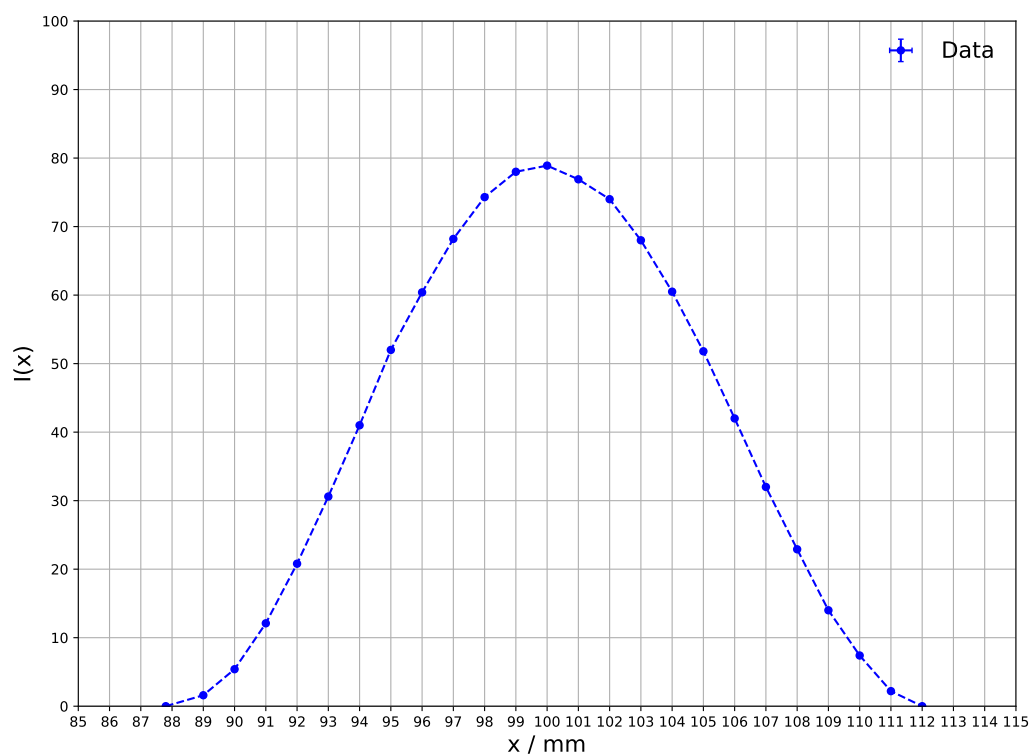


图 2: 两个相邻波节之间的驻波曲线

可以看出两个相邻波节之间的驻波曲线 $I(x)$ 接近正弦曲线

4.4.2 检波晶体管的 $I - |E|$ 曲线

结果如下图3.

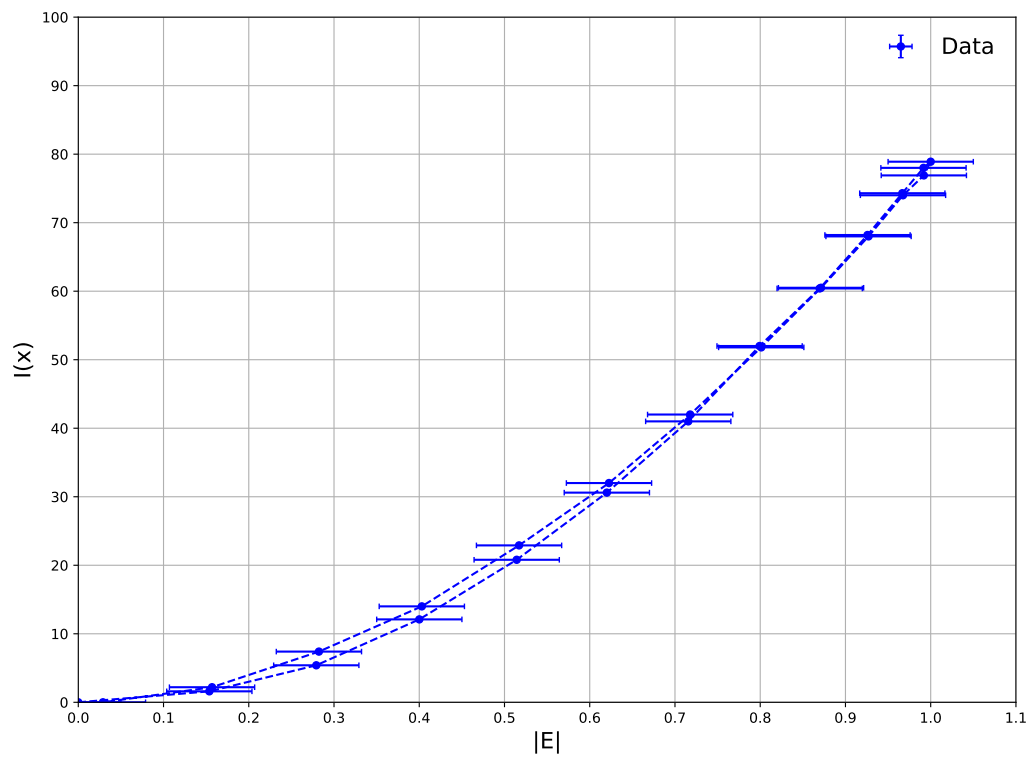


图 3: 检波晶体管的 $I - |E|$ 曲线

我们据此可以猜想 $I - |E|$ 是一个幂次函数关系，为更便于处理，不妨同时对横轴和纵轴取对数进行直线拟合即可通过斜率得到幂次 n

4.4.3 确定晶体检波律 n

结果如下图4.

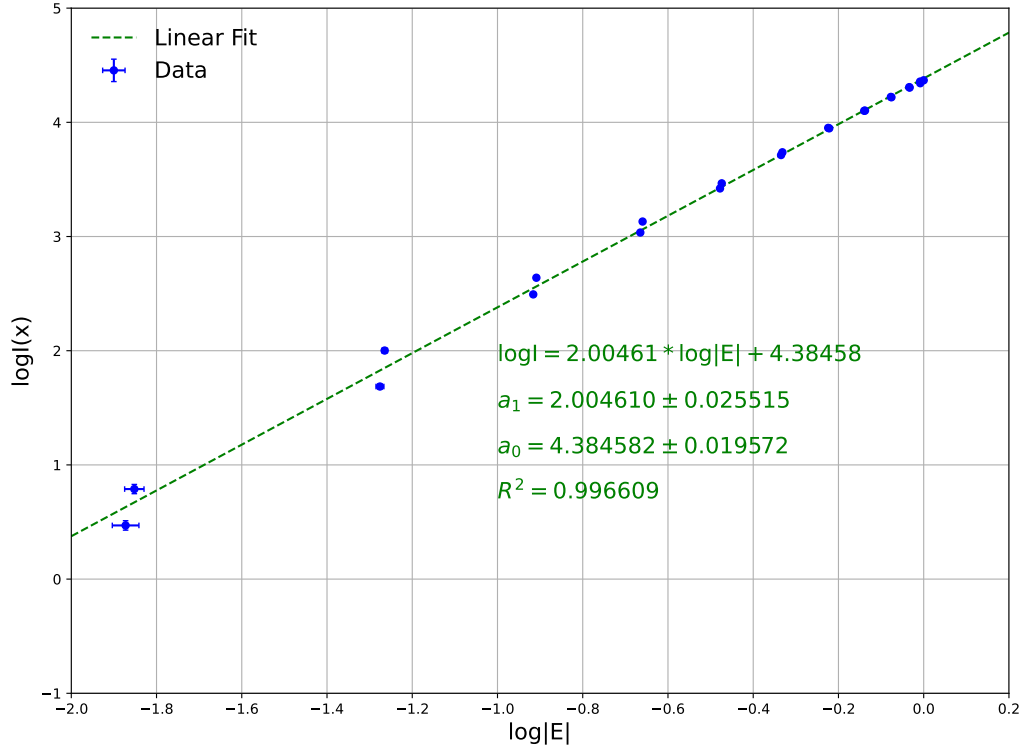


图 4: 确定晶体检波律 n

通过对 $\log I$ 和 $\log |E|$ 的线性拟合, 我们可以很直接得到

$$n \pm \sigma_n = 2.0046 \pm 0.0255 \quad (17)$$

5 结论

在 4.1 中我们观测到了体效应振荡器的工作特性曲线，并观测到了 Gunn 效应。在 4.2 中我们练习并掌握了“调节匹配”，在默认检波晶体满足平方律的条件下，测量了小驻波比和中驻波比。在 4.3 中我们测量波导波长，并计算出了相速度，光速，群速度，观察到了相速度大于光速的解雇。在 4.4 中我们进一步研究了晶体检波律，并测量出了幂次 n ，可以看出 n 和 2 的误差极小，晶体检波平方律在误差允许范围内得到验证。

6 实验报告思考题

6.1 在 $a = 23.0mm$ 、 $b = 10.0mm$ 的矩形波导管中能不能传播 $\lambda = 2cm$ 、 $3cm$ 和 $5cm$ 的微波？各能传播哪些波型？

答：根据

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{(m/a)^2 + (n/b)^2}} \quad (18)$$

我们可以算出可传播的最大波长为 $\lambda_{max} = 18.3mm$ ，显然不能传播 $\lambda = 2cm$ 、 $3cm$ 和 $5cm$ 的微波，可传输波长在 $\lambda_{max} = 18.3mm$ 以下，满足 $\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{(m/a)^2 + (n/b)^2}}$ 的波长的波型

7 致谢

感谢杜老师在实验中的悉心指导。