

微波铁磁共振 实验报告

王国胜, 201511140243

指导教师: 廖红波

实验日期: 2018 年 4 月 18 日

摘 要

本实验将。^[1]

关键词: 关键 关键 关键 关键 关键 关键 关键

1 引言

2 实验原理

2.1 微波

2.1.1 微波的性质

微波即波长范围在 1mm-1m 的电磁波的总称, 对应频率为 $3 \times 10^8 \sim 10^{11}$ Hz。微波的振荡周期接近真空电子管中的电子渡越时间 ($\sim 10^{-10}$ s), 使得电子在微波振荡中的滞后效应不可忽略; 微波的波长与一般宏观物体 (包括通常的电子元件) 相当, 因此会在宏观物体表面产生反射, 并可由一般电子元件产生, 且只能在波导管/谐振腔等中传输, 而其电磁场参量在一般电路中需要用分布参数来描述; 微波传播类似可见光, 有直线传播/反射/吸收/折射等效应, 而又可穿透电离层 (区别于其它无线电波), 常被用于卫星通信等领域, 但借助微波的地面通讯则须借助中继站; 微波量子能量许多原子/分子的振动-转动能级和磁能级相近, 适用于相关研究。由于这些特性与其它波段电磁波都有不同, 微波的产生/传播等都有专门的理论描述和技术实现。^[1]

2.1.2 微波的产生

一般采用微波固体振荡器或微波电子管产生微波; 前者包括微波晶体管振荡器/体效应管振荡器等, 而后者包括磁控管等, 多用于需要较高微波功率的应用场景。本实验中用微波体效应管产生微波。

微波体效应管振荡器即耿氏二极管振荡器主要利用有双能谷结构的半导体材料的负阻特性形成的电流震荡输出微波。这类材料包括砷化镓/磷化铟/碲化镉/硒化锌/砷化铟等。以下以砷化镓为例。

300K 下, 砷化镓的能带结构如图 1。图中可见其导带中的主能谷附近还有子能谷; 能量最低的子能谷能量比主能谷高出约 0.36eV, 故其中电子迁移率小于主能谷。常温下电子能量不足以进入子能谷; 加外电场到 $E > E_{th}$ 时, 部分电子被激发到子能谷中, 于是平均电子迁移率将下降, 材料电阻下降, 表现负阻特性; 待电场增大到全部电子都被及发到子能谷中时, 效应结束。

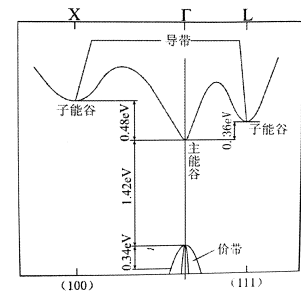


图 1 砷化镓的能带结构

设晶体管阴极附近有一因接触电阻和杂质不均匀分布产生的电阻率较大的区域,则在晶体管两端加逐渐增大的电压时,此区域分压较大,电场较强,首先超过阈值电场,表现负阻特性,电子迁移率较低;于是其阴极一侧电子堆积,阳极一侧电子抽空,内部电场进一步增大,形成高场畴。由于总电压由外电路给定,此畴一旦形成,即将抑制其他区域的电场增大,故只会产生一个高场畴。

高场畴中电子仍将在电场作用下向阳极运动,故整个高场畴将向阳极渡越;同时,畴内电场增大使得内部电子迁移率重新增大,逐渐又与外部的迁移率相等;于是畴内电场不再增大,场畴成为成熟畴;成熟畴将稳定地渡越到阳极,在阳极被吸收后在电路激起一个电流脉冲,同时晶体管开始下一个畴的形成。

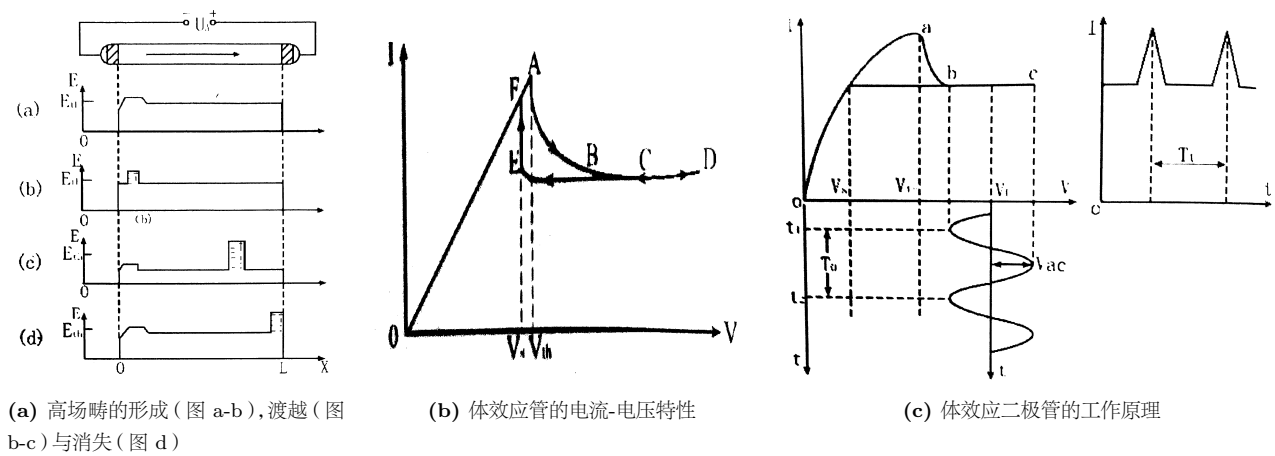


图 2 体效应二极管

3 实验内容

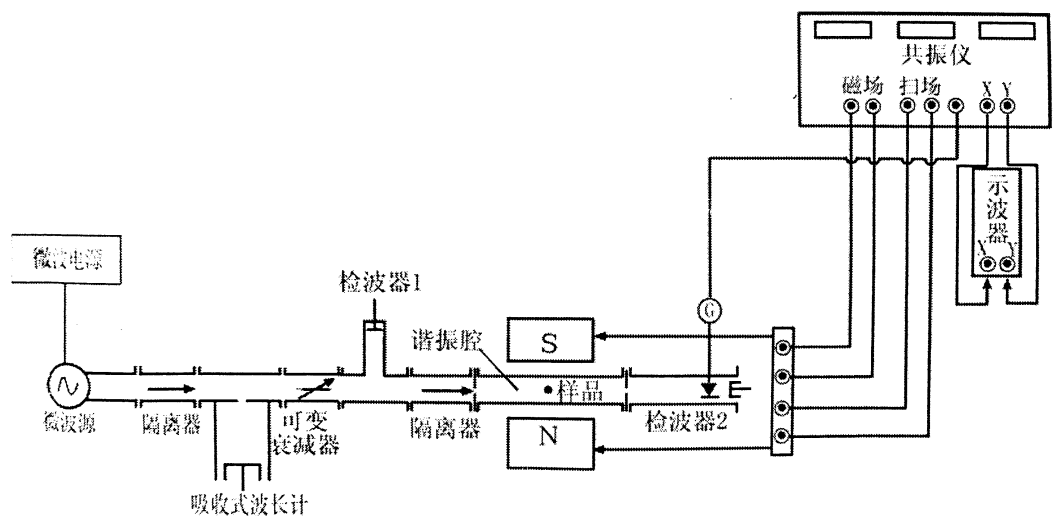


图 3 传输式谐振腔铁磁共振实验光路图

1. 体效应微波振荡器工作曲线测量及性能测量

- (a) 打开体效应微波振荡器总电源, 调节“频率”旋钮使频率读数位于 9.000GHz 左右, 预热至少 30 分钟。按图 3 所示光路图检查光路是否连接妥当。
- (b) 按下微波源信号的“等幅”和“教学”工作钮, 在 0-13V 的电压范围内连续改变体效应管的主作电压, 记录相应的工作电流值, 画出体效应管在 0-13V 区间电流·电压曲线。利用光路中的吸收式波长计和检波器 1 测量工作电压在 10-13V 区间频率-电压曲线, 分析体效应管的负阻区和微波工作区的电压范围。
- (c) 弹起“教学”工作钮, 此时体效应管工作在标准电压 12.0V 左右。调节体效应管功率钮和微波衰减器, 使与检波器 1 连接的微安表的示数合适, 调节频率旋钮, 改变微波的频率范围 (8.9GHz-9.2GHz), 测量不同频率下的微波输出功率。
注意, 每次改变频率后, 检波器要调谐。

2. 铁磁共振实验

- (a) 检查传输式谐振腔中的金属耦合片是否装上。
- (b) 本实验是在 3 厘米微波波段进行的, 传输式谐振腔采用 TE_{10p} 矩形谐振腔 (本实验中 $p=8$, $a=2.295\text{cm}$, $l=19.30\text{cm}$), 样品采用直径大约为 1-2mm 的多晶或单晶铁氧体小球。电磁铁提供的外磁场强度为 0-0.5T。根据 [ref 讲义公式 \(9\) 和 \(10\)](#) 估算谐振腔的谐振频率。
- (c) 检测电磁铁电钮旋钮是否为最小, 然后打开共振仪电源, 工作方式设为检波。根据预习中对理论谐振频率的计算结果, 在该频率附近连续调节微波频率, 观察共振仪上的检波示数的变化, 当表头示数发生变化时, 及时调整检波器 2 的调谐活塞和灵敏度, 使检波指针示数合适。观察示数随微波频率的变化关系。
- (d) 仔细调节微波频率观察谐振腔的输出功率, 找到其谐振频率 f_0 , 将检波器 2 连接到微安电流表上, 调节衰减器, 使微安表示数合适, 在此频率左右单调、逐点测量传输式谐振腔的谐振曲线, 并计算其品质因数。
- (e) 将微波频率设置为 f_0 , 工作方式设为扫场, 放入铁磁样品, 调节磁场电流扫场为最大, 调节磁场电流, 直到在示波器 (x-y 扫描方式) 观察到共振曲线, 调节相移钮, 使左右信号重合, 调节各参数 (电磁铁电流/相移/微调谐振频率), 使共振曲线接近理想图形。
- (f) 分别观察不同铁氧体样品的共振线宽。
 - i. 在谐振腔中放入不同的铁氧体样品, 观察共振信号的变化, 记录共振曲线的图像, 分析不同样品共振信号的差异与成因。
 - ii. 用逐点法测量样品的共振曲线:
 - A. 将待测样品放入谐振腔, 铁磁共振仪设为扫场方式, 调节磁场电流, 在示波器上观察样品的共振特征;
 - B. 铁磁共振仪设为检波, 将检波器 2 连接到微安表上, 从小到大调节磁场电流, 用逐点法测量样品的共振曲线, 注意合理设置测量点的步长, 测量前一定要使谐振腔调谐, 使曲线左右远离共振时的信号功率尽量相等 (如果共振曲线左右功率不等, 应微调谐振频率), 绘制 $P-B$ 图, 测量多晶样品的共振线宽 ΔB
- (g) 用高斯计测量电磁铁电流与磁场强度的关系。
- (h) 计算样品的旋磁比 $\gamma = \frac{B_0}{\omega_0}$ 、 g 因子和弛豫时间 τ 。
- (i) 比较分析不同样品的弛豫时间不同的原因。

3. 关机:将铁磁共振仪的电磁铁电流调至最小,关仪器电源开关。

4 实验结果与分析讨论

5 结论与建议

* * * * *

参 考 文 献

- [1]. 北京师范大学物理实验教学中心.2018.3. 近代物理实验 II 讲义.1-13 页.

A 仪器参数

B 实验注意事项

C 实验记录