

## 实验 D1 锁相放大器与弱信号测量 (设计性)

2019 年 10 月 9 日

实验方案	实验记录	分析讨论	总成绩
年级、专业：	17 级物理学	组号：	第六组
姓名：	谢梓冰	学号：	17353070
日期：	2019 年 10 月 9 日	教师签名：	

目录

<b>1</b>	<b>实验原理与方案</b>	<b>3</b>
1.1	实验目的 . . . . .	3
1.2	仪器用具 . . . . .	3
1.3	实验安全注意事项 . . . . .	3
1.4	原理概述 . . . . .	3
1.4.1	变容二极管结电容测量 . . . . .	3
1.5	实验前思考题 . . . . .	5
<b>2</b>	<b>实验内容、步骤、结果</b>	<b>7</b>
2.1	实验步骤与结果 . . . . .	7
2.1.1	变容二极管结电容测量 . . . . .	7
2.2	实验过程遇到问题记录 . . . . .	9
2.3	附录：实验数据 . . . . .	9
<b>3</b>	<b>分析与讨论</b>	<b>9</b>
3.1	思考题 . . . . .	9

## 1 实验原理与方案

### 1.1 实验目的

### 1.2 仪器用具

编号	仪器名称	数量	主要参数
1			
2			
3			

### 1.3 实验安全注意事项

### 1.4 原理概述

#### 1.4.1 变容二极管结电容测量

PN 结电容根据产生的原因不同可分为势垒电容和扩散电容。

**势垒电容：**PN 结交界处存在势垒区（耗尽层），因此结两端的电压变化会引起积累在此区域的电荷数量的改变，从而表现出电容特性。当 PN 结外加电压变化时，空间电荷区的厚度将随之变化，即耗尽层的电荷量随着外加电压而增多或减少。耗尽层厚度变化所等效的电容就叫做势垒电容，它具有非线性，与结面积、耗尽层厚度、半导体的介电常数及外加电压有关。

**扩散电容：**扩散电容是在正向偏置电压下所表现出来的一种微分电容特性。在反向偏置的时候，可以忽略扩散电容的作用，因为它是少数载流子引起的，在正向偏置的时候会起很大的作用。但是，势垒电容与此不同，它在正向偏置与反向偏置下都起作用，因为它是多数载流子引起的。

变容二极管就是根据普通二极管内部的 PN 结电容随着外加电压的变化而变化的原理而设计出来的一种特殊二极管。

二极管 PN 结电容  $C_j$  大小为：

$$C_j = \left| \frac{dQ}{dV} \right| = A \sqrt{\left[ \frac{\varepsilon_0 \varepsilon e N_B}{2(V_D - V)} \right]} \propto \sqrt{\left| \frac{1}{V_D - V} \right|}$$

其中  $e, \varepsilon_0, \varepsilon$  是常数， $N_B$  为杂质浓度， $V_D$  为接触电势差，与 PN 结两边的掺杂浓度以及材料性质有关， $A$  为 PN 结势垒电容等效为平行板电容器的正对面积。

在 PN 结确定的情况下，以上参数均不会发生变化。从式中可以得出  $C_j \propto \sqrt{|\frac{1}{V_D - V}|}$  成正比关系，设比例系数为 K。

动态电容与交流电压还有以下关系：

$$C_j = \frac{C_{j0}}{(1 - \frac{V}{V_D})^\gamma} \quad (1)$$

其中  $C_{j0}$  为交流电压为零 ( $v=0$ ) 时的结电容,  $V_D$  为结两端的直流电压,  $\gamma$  为电容变化系数, 它的值随半导体的掺杂浓度和 PN 结的结构不同而异。对于缓变结,  $\gamma = 1/3$ ; 突变结,  $\gamma = 1/2$ ; 对于超突变结,  $\gamma = 1.4$ , 最大可达 6 以上。

本实验原理图如图1所示。测量前变容二极管需安装在实验箱上，并通过交流电路测量二极管的结电容（简化图如图3所示），其中，OE1022 提供信号源，经实验箱变压器提压，加在测量电路上；加在二极管两端的直流电压通过实验箱内的变阻器分压 15VDC 提供和调节，其直流电压的大小由 OE1022 测量。实验采用信号源是 OE1022 的 SINE OUT 信号发生器，输出 10.000kHz 的交流信号用于激发变容二极管的电容效应，同时用 OE1022 作为测量仪器。

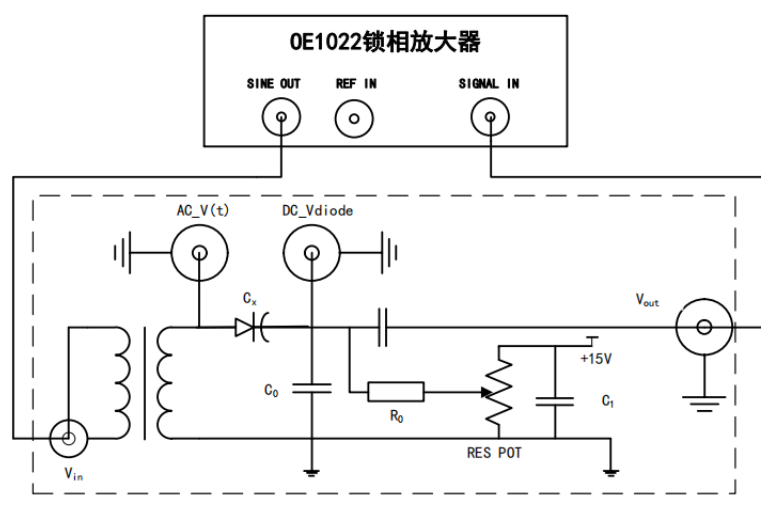
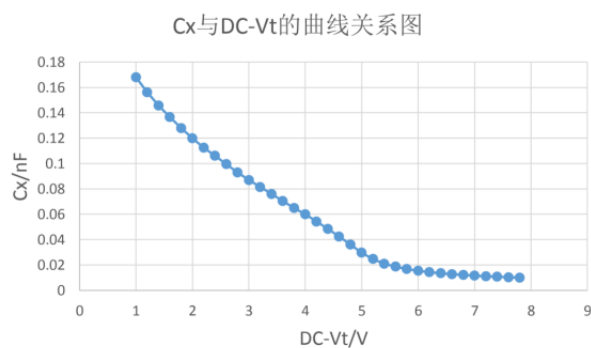


图 1: 变容二极管结电容测量实验原理图

在变容二极管两端加入反偏直流电压 DC-Vt，变容二极管电容  $C_x$  值随电压 DC-Vt 变化而变化，变化关系如图2所示。

图 2: 变容二极管  $C_x$  与 DC-Vt 的曲线关系图

实验电路图由于锁相放大器输入阻抗远大于待测阻抗, 测量端可以视为断路状态, 根据交流电路结构可以简化为如下交流等效结构:

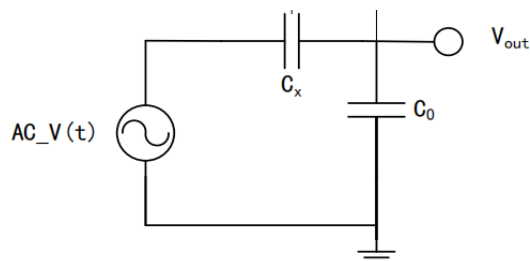


图 D1-38 变容二极管结电容测量实验原理图简图

图 3: 变容二极管结电容测量实验原理图简图

可推出待测电容  $C_x$  表达式:

$$C_x = \frac{V_{out}}{V_{sine} - V_{out}} \times 6.8nF \quad (2)$$

其中,  $V_{sine}$  是 SINE OUT 设置的值,  $V_{out}$  是 OE1022 测得值幅值  $R, C_0$  是标准电容, 此处采用 6.8nF。

## 1.5 实验前思考题

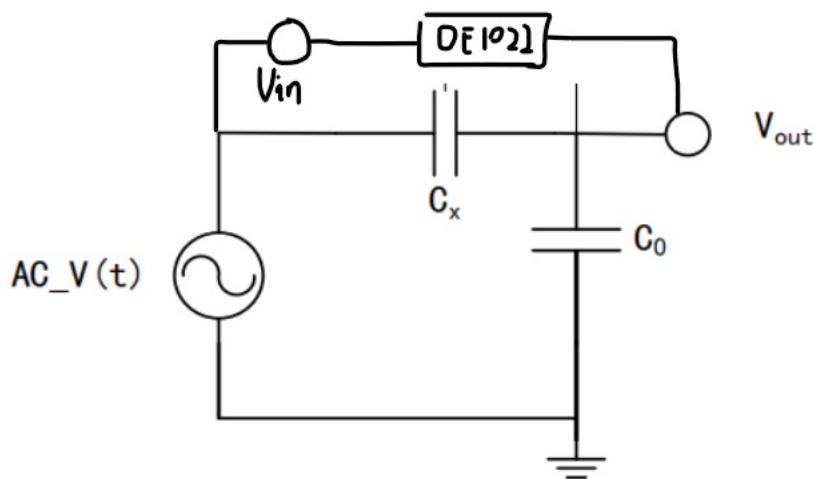
(1) 什么是 PN 结的结电容?

PN 结电容根据产生的原因不同可分为势垒电容和扩散电容。

**势垒电容：**PN 结交界处存在势垒区（耗尽层），因此结两端的电压变化会引起积累在此区域的电荷数量的改变，从而表现出电容特性。当 PN 结外加电压变化时，空间电荷区的厚度将随之变化，即耗尽层的电荷量随着外加电压而增多或减少。耗尽层厚度变化所等效的电容就叫做势垒电容，它具有非线性，与结面积、耗尽层厚度、半导体的介电常数及外加电压有关。

**扩散电容：**扩散电容是在正向偏置电压下所表现出来的一种微分电容特性。在反向偏置的时候，可以忽略扩散电容的作用，因为它是少数载流子引起的，在正向偏置的时候会起很大的作用。但是，势垒电容与此不同，它在正向偏置与反向偏置下都起作用，因为它是多数载流子引起的。

- (2) 在推导式2时，为何没有考虑虚部的贡献？虚数项相比较而言较小，可以忽略
- (3) OE1022 的输入阻抗为  $10\Omega$ ，等效电容为  $25\text{pF}$ （见手册），请在简化模型（图3的原理图）的基础上画出等效电路；并且，分析忽略它会造成的误差有多大？是属于什么误差？



属于系统误差

## 2 实验内容、步骤、结果

### 2.1 实验步骤与结果

#### 2.1.1 变容二极管结电容测量

- (1) 在实验箱面板接上待测二极管，按照原理图连接好线路
- (2) 在 OE1022 的 REF PHASE 菜单下，Ref. source 选择 Internal，Ref. frequency 设置为 10.000kHz，SINE OUT 设置为 0.010Vrms (0.028Vpp)；
- (3) 用 BNC-BNC 信号线连接 OE1022 的“SINE OUT”接口与教学实验箱本实验框图中的“ $V_{in}$ ”接口；
- (4) 用 BNC-BNC 信号线连接教学实验箱本实验框图中的“Vout”接口与 OE1022 的“A/I”接口；
- (5) 此时，可以用 OE1022 直接测量反偏直流电压点 DC-Vt 电位。操作方法为用 BNC-BNC 信号线连接 DC-Vt 接口与 OE1022 后面板的 AUX IN 1 接口，在 OE1022 的 DISPLAY 菜单下，Display&Scale 选择 Full，Type 设置为 List。此时可以从 OE1022 显示屏读取 AD1 的电压值，即是反偏直流电压点 DC-Vdiode 电压，如图4所示，然后调节电位器使得反偏直流电压点 DC-Vdiode 置零；

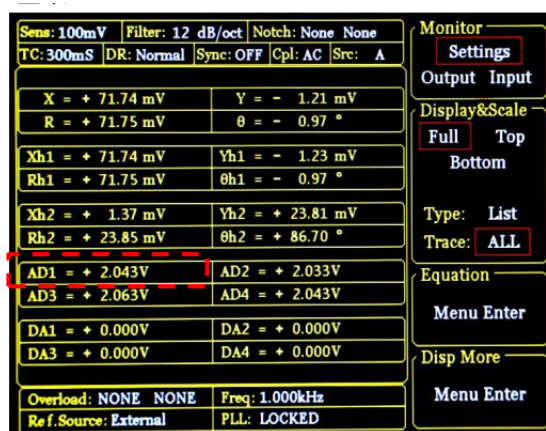


图 4: 变容二极管反偏电压测量值

- (6) 小心缓慢调节电位器，使得变容二极管的反偏直流电压 DC-Vt 从 1 至 7.9V 逐渐变化，变化步长为 0.2V，逐点记录 DC-Vt 和锁相放大器 R 值；

(7) 记录  $V_{out}$  的测量值，结束后利用式2计算二极管电容  $C_x$ ，并作  $C_x$  与 DC-Vt 的曲线关系图。

测量频率：

表 1: 变容二极管实验记录

反偏电压/V	实验测得 R 值	变容二极管电容值	反偏电压/V	实验测得 R 值	变容二极管电容值
1.0			4.6		
1.2			4.8		
1.4			5.0		
1.6			5.2		
1.8			5.4		
2.0			5.6		
2.2			5.8		
2.4			6.0		
2.6			6.2		
2.8			6.4		
3.0			6.6		
3.2			6.8		
3.4			7.0		
3.6			7.2		
3.8			7.4		
4.0			7.6		
4.2			7.9		
4.4					



## 2.2 实验过程遇到问题记录

## 2.3 附录：实验数据

# 3 分析与讨论

## 3.1 思考题

1. 请定量分析反偏直流电压与二极管结电容的关系，并通过拟合式1，判断所测的 PN 结是哪种结。
2. 分析实验中可能的误差。