

**2008 年北京市**  
**大学生物理实验竞赛**

**项目说明**

参赛学校：北京邮电大学  
参赛题目：窃听器制作  
组队负责人：李腾飞  
组队成员：王超  
张平

北京市大学生物理实验竞赛组委会制

2009 年 2 月

|           |  |            |      |    |
|-----------|--|------------|------|----|
| 参赛题目      | 窃听器的制作                                 |            |      |    |
| 负责人姓名     | 性别                                     | 出生年月       | 专业   | 年级 |
| 李腾飞       | 男                                      | 1988.07.27 | 通信工程 | 大三 |
| 手机, email | 13810446349, litengfei727@yahoo.com.cn |            |      |    |
| 队员姓名      | 性别                                     | 出生年月       | 专业   | 年级 |
| 张平        | 男                                      | 1987.07.24 | 通信工程 | 大三 |
| 王超        | 男                                      | 1988.08.01 | 通信工程 | 大三 |

**摘要:** 在窃听领域, 各种形形色色的窃听方式层出不穷, 但各有其优点与局限性。为了实现在不同条件下都能实现良好的窃听效果, 本实验综合了接触式窃听技术在短距离较复杂环境下的优势和激光窃听在远距离非接触条件下的优势, 根据不同条件在两种窃听方式间自由切换。本方案综合采用普通红外与激光红外作为传输介质, 从而使窃听距离达到 100m, 并能适应接触与非接触两种情况, 具有很强的实用性。

## 1 方案论证

### 1.1 接触式普通红外窃听

接触式窃听的基本方法是通过在声源处放置微音器, 将收集到的声源传出的微弱声信号转变为电信号, 经电子线路放大, 并通过红外、微波等媒介进行远距离传输, 在接收端转换成声音信号由监听人员监听。

由于声音为低频电信号一般不适合直接远距离传输, 需要经过放大后对发射机的高频振荡进行调制后通过一定的媒介传输出去, 而利用红外进行传输, 具有保密性强、信息量大、结构简单等优点, 而且其方向性强, 隐蔽性好, 在近距离传输中具有明显的优越性, 因此在此我们采用红外作为传输媒介。

但是, 这种窃听方式也具有一定局限性, 由于红外射束易受尘埃、雨水等物质的吸收, 无法满足远距离窃听的要求, 易受气候的影响。更重要的是红外窃听必须在声源处添加且听装置, 易被发现, 增加了窃听的困难程度。

### 1.2 非接触式红外激光窃听

激光窃听基本原理是将一束激光打在窃听目标周围容易受声压作用产生振动的物体上, 然后在其光束反射的方向上接收振动信号, 并对信号进行解调达到声音还原。

这种窃听方式作用距离较远, 最重要的一个特点是无需在窃听目标周围安装任何设备, 就克服了在那些无法进入的房间里安装窃听器的困难, 避免被侦测发现的危险。

但是激光窃听受天气、环境影响较大，和窃听目标周围反射面性能也有较大关系，在实际应用中会遇到很多问题。

**结论：**由上可知普通红外与激光窃听各有其优劣势，一个在近距、小声源窃听上效果较好，一个在远距、不能接近声源条件下优势明显，两种方法刚好形成互补。因此，我们综合两种方式的优点，设计了一套可以根据不同情况自由切换，具有较大实用价值的窃听方案。

## 2 窃听原理与方法

### 2.1 声源采集与调制

普通窃听方式与激光方式在声源采集与调制上有很大不同，前者在声源处用声电转换装置把声信号转换成电信号，再用电光转换原理把声信号转换成光信号传输，如图 1 所示；后者应用激光调制原理直接把声信号调制在光信号上传输，如图 2 所示。

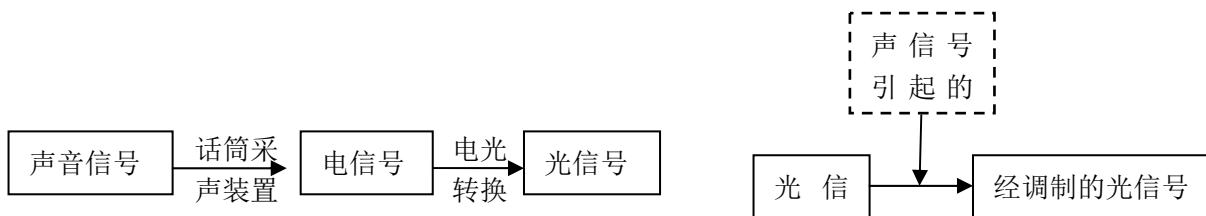


图 1 普通窃听方式

图 2 激光方式

#### 声电转换及电光调制

话筒里面的介质通过声波产生形变，导致电阻改变从而产生变化的电信号。电信号经放大电路处理接在红外发射管两端，变化的电流引起发射红外光功率的变化从而达到光调制的目的，并以红外光的形式发射出去。系统采用的发光二极管的驱动和调制电路如图11（见后）所示。

#### 激光调制原理

如图 3、图 4 所示，反射面是窃听目标所在房间处的窗户玻璃，或是房间内的茶杯，花瓶等对易受声波声压作用产生振动且对激光能够较好反射的物体。发射装置包括激光器以及光学准直器件，接收装置包括光电探测器，光学聚焦器件以及声音输出模块等。

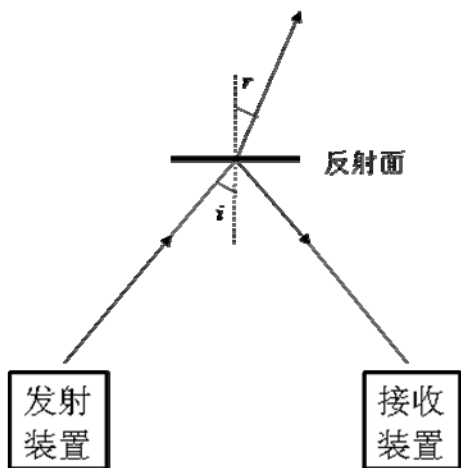


图 3 反射面无振动（无声源刺激）时光路图

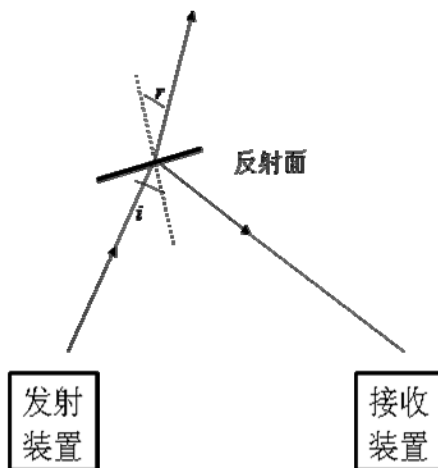


图 4 反射面振动（有声源刺激）时光路图

发射装置中发出激光，经过光学系统以后，瞄准窃听目标处的玻璃中心，经玻璃反射后聚焦会聚到光电探测器上。声波在空气中传输，会在玻璃表面产生声压，声压的大小和质点所处的位置有关，而玻璃表面的反应只和直接作用在上而的局部声压成正比，因此玻璃会产生如图3所示的变形，使得激光在入射方向不变的情况下，入射角得到变化，通过光的反射定律、折射定律以及菲涅尔公式进行下面的推导。

坡印廷矢量的平均值  $s$  代表能流密度，即流过单位面积的能量流  $W = sq$  即为总能流，其中  $q$  是光束的截面积，设入射光束面积为  $q_1$ ，则反射光束面积  $q_1' = q_1$ ，透射光束面积  $q_2 = q_1 \cos r / \cos i$ 。若入射光能流为  $W_1 = s_1 q_1$ ，则反射光能流为  $W_1' = s_2 q_1$ ，透射光能流为：

$$W_2 = s_2 q_2 = s_2 (q_1 \cos r / \cos i) = W_1' (\cos r / \cos i)$$

并且根据能量守恒，可得到  $W_1 = W_1' + W_2$ ，即为：

$$W_1 = W_1' + W_2 = W_1' + W_1' (\cos r / \cos i) = W_1' (1 + \cos r / \cos i)$$

因此可得  $W_1' = W_1 / (1 + \cos r / \cos i)$ 。设玻璃的折射率为  $n$ ，则进一步分析可得到：

$$W_1' = \frac{W_1}{1 + \sqrt{1/\cos^2 i - \tan^2 i/n^2}} \quad (1)$$

那么 
$$\frac{W_1'}{W_1} = \frac{1}{1 + \sqrt{1/\cos^2 i - \tan^2 i/n^2}} \quad (2)$$

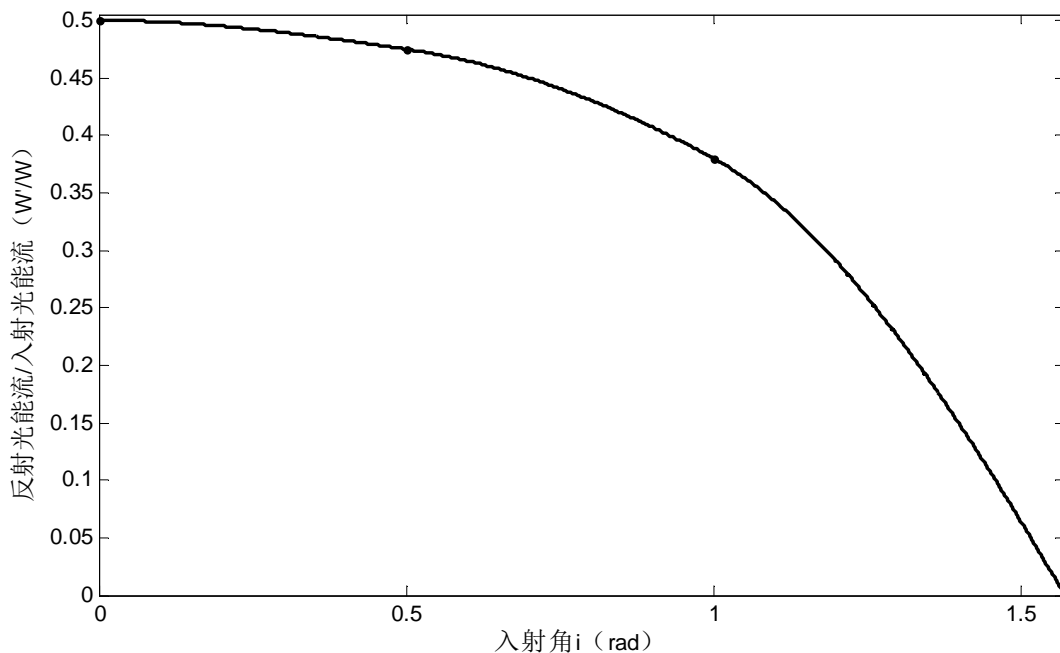


图5 反射光能流与入射光能流之比 ( $W_1'/W_1$ ) 与入射角  $i$  的关系

由公式(2)我们可以得到图5中的曲线，这里取玻璃的折射率  $n = 1.5$ 。图中横坐标是入射角的弧度值，纵坐标表示反射能量与入射能量之比。

由图5可以看出，在  $0 \sim 90^\circ$  范围内，随着入射角  $i$  的增加， $W_1'/W_1$  是单调递减的。也就是说，声波引起了玻璃的振动。不同频率、不同强度的声音引起的振动程度也不同，入射角总是

变化的，因此  $W_1'$  受到调制。反射光线经过聚焦以后由光电探测器所接收，输出随着接收能量不同而随时变化的电信号，再通过放大以后，便可得到窃听的语音信号了。

## 2.2 信号传输

在本方案中，两种方式采用的传输媒介都是光，都具有光的传输特性，但两者还有区别：

**普通红外光传输：**传输距离较短，一般为 10 米以内，容易受外界物体的干扰。但是发射角度较大，一般的红外发射头发射角度能达到  $45^\circ$ 。在传输过程中，我们采用了多发射头的解决方案，从而更有效的扩大了发射角度，但同时也增大了发射的功率。

**激光传输：**传输距离较长，5mW 就能达到 100 米以上，传输过程中损耗较小。但是只能是一条直线传输。在此实验中，我们采取多反射，折射方式改变传输路径，可实现多折线传输。如果条件允许还可在靠近声源的地方加一个全反射镜，使发射光线与反射光线平行，以方便寻找反射回来的光线。

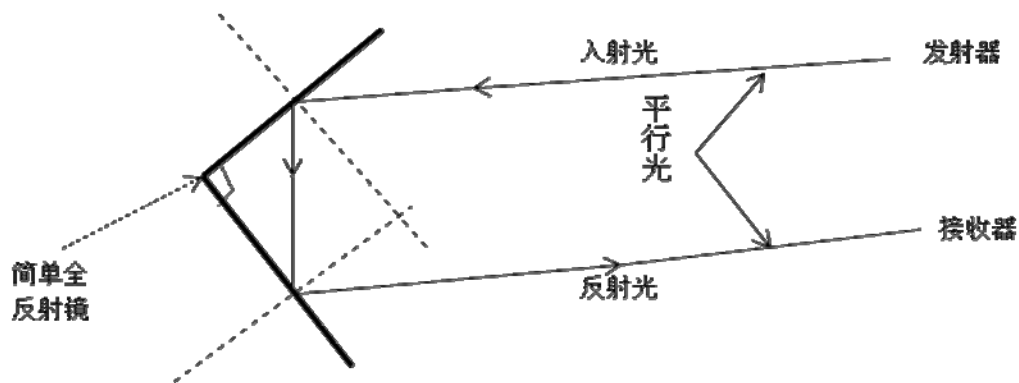


图 6 全反射镜工作原理

## 2.3 声信号还原

本方案中，两种方式在接收端都要实现光信号的解调，光信号解调为声信号都必须先变成电信号。我们的解调采用光电-电声解调。

### 光电转换原理

光电效应，即当物质在一定频率的光的照射下，释放出光电子的现象。当光照射金属、金属氧化物或半导体材料的表面时，会被这些材料内的电子所吸收，如果光子的能量足够大，吸收光子后的电子可挣脱原子的束缚而逸出材料表面，这种电子称为光电子，这种现象称为光电子发射，又称为外光电效应。有些物质受到光照射时，其内部原子释放电子，但电子仍留在物体内部，使物体的导电性增加，这种现象称为内光电效应。

红外接收二极管是典型的红外接收装置，不做赘述。

硅光电二极管是典型的光电效应探测器，具有量子噪声低、响应宽、使用方便等特点，广泛用于激光探测器。图 7 是硅光电二极管的工作原理。

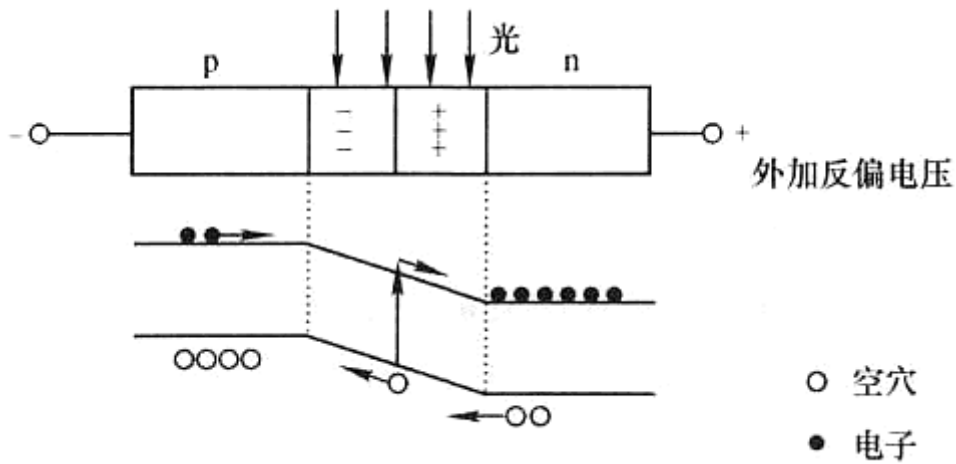


图7 硅光电二极管工作原理

外加反偏电压于结内电场方向一致，当pn结及其附近被光照射时，就会产生载流子（即电子—空穴对）。结区内的电子—空穴对在势垒区电场的的作用下，电子被拉向n区，空穴被拉向p区而形成光电流。同时势垒区一侧一个扩散长度内的光生载流子先向势垒区扩散，然后在势垒区电场的的作用下也参与导电。当入射光强变化时，光生载流子的浓度及通过外回路的光电流也随之发生相应的变化。这种变化在入射光强很大的动态范围内仍能保持线性关系。

图8为光电二极管的光电流与入射光强的关系，图中可以看出，在很大的动态范围内，它们基本上是线性关系。通过光电二极管接收光强的变化则可以实现光电转换，把光信号变成电信号，这样我们在再把电信号还原成声信号即可。

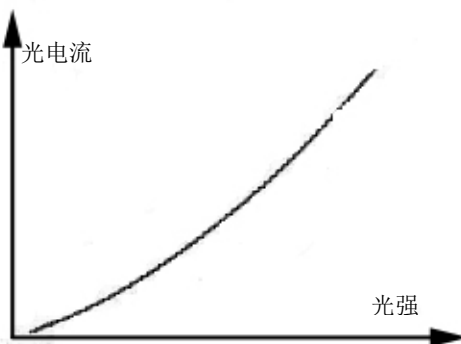


图8 光电流与光强的关系

从图9中可以看出二极管的峰值响应波长为0.75~0.85 μm

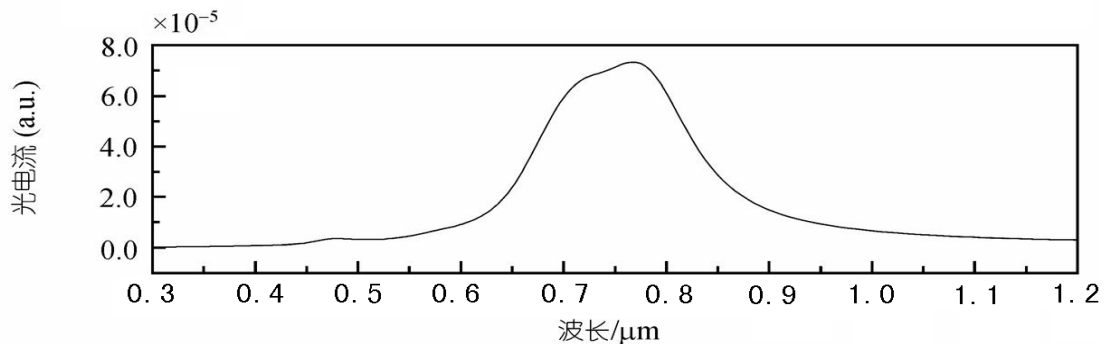


图9 光电二极管光谱响应曲线 (a.u.是 arbitrary unit 的缩写，即任意单位)

### 3 实验仪器与装置

#### 3.1 整体设计思路：

本实验装置主要分为发射装置和接收装置，由于激光窃听和普通红外窃听接收原理相同，只是探测头不同，因此接收装置可共用。激光窃听部分的发射装置由半导体激光发射器和光学系统构成。普通红外窃听部分的发射装置由声音采集放大，以及红外调制发送系统构成。整体设计框图如图 10 所示：

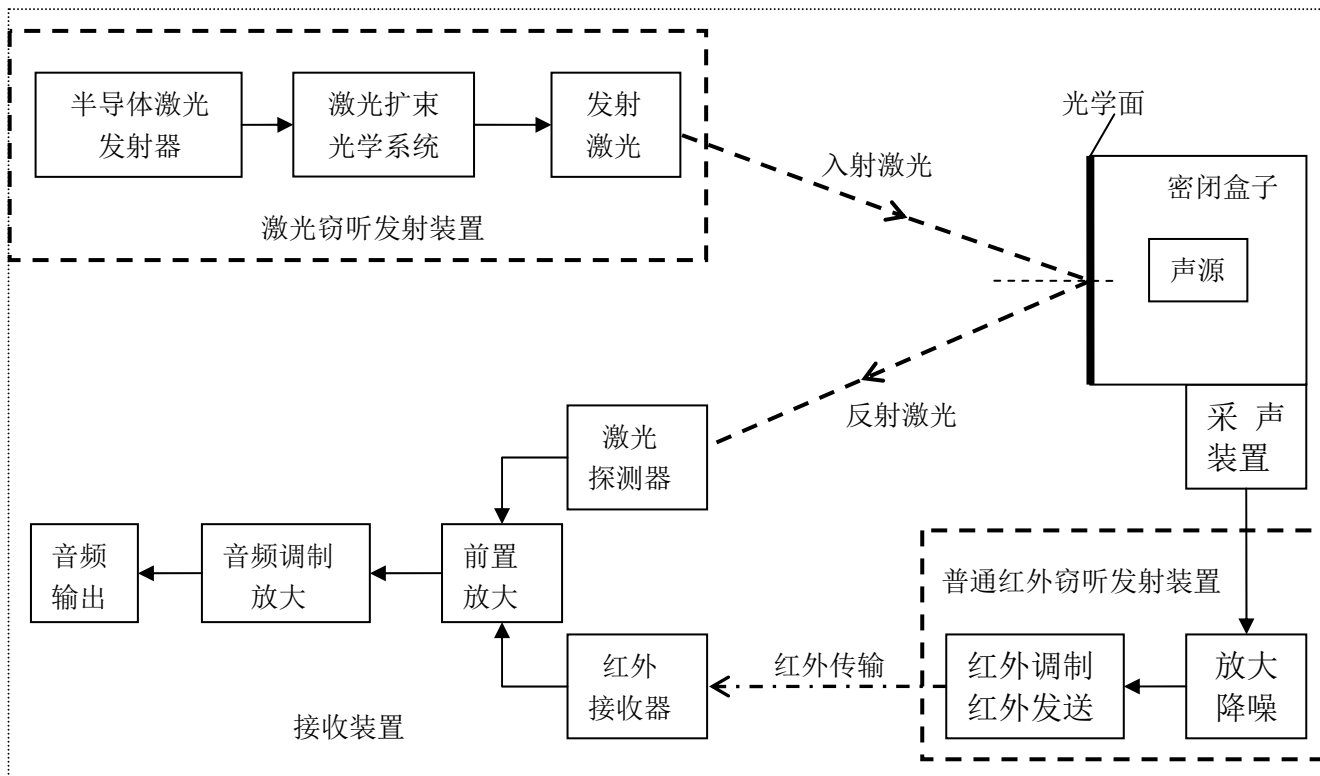


图 10 整体设计框图

#### 3.2 红外激光窃听发射装置

发射装置主要使用半导体激光器，半导体激光器发出连续的 5mW 近红外光，波长范围大约在 790-820nm（在实验室条件，为方便调节光路，也可选择 670nm 的可见红光）。选择这个波长范围主要是有以下几个原因：

- (1) 近红外光的波长正好满足硅光电二极管的峰值响应波长的要求，使接收探测器工作在较大响应度上。
- (2) 红外光是不可见光，不容易被监听对象所察觉。
- (3) 红外光有着很好的大气传输特性，几乎可以不考虑大气散射。
- (4) 这种激光器携带方便，容易进行实际操作。
- (5) 相对于较大波长的红外光而言，近红外不易受热辐射带来的噪声影响。
- (6) 近红外光的接收传感器，不需要专门的冷却设备，就可以在最佳灵敏度上工作。

5mW 的功率在激光窃听中是足够的，工作范围可以达到 1 km。在实际操作过程中，一定要注意不要让激光直射到眼睛，发射系统最主要的任务就是将入射光线打到玻璃的中央，同时要保持方向不变。

### 3.3 普通红外窃听发射装置

声音的采集部分是通过紧贴在密闭盒外的麦克采集密闭盒内的声音，并用分压电路将声信号转化为电信号，取  $C_2=10\mu\text{f}$   $R_7=100\text{k}\Omega$  构成低通滤波器，滤除高频噪音，保证低频响应。

声音的放大部分是使用高精度运放 OP07 进行对信号的放大，取  $R_1=120\text{k}\Omega$   $R_3=1.3\text{k}\Omega$ ，是放大倍数达到 100 倍，使信号得到有效的放大，并抑制了高频噪声，为下一步通过红外传输做好准备。

红外传输部分是通过三极管放大，并调制红外光强来实现的，取  $R_2=2\text{k}\Omega$   $R_9=2.7\text{k}\Omega$  是三极管工作在合适的直流工作点，保证信号在幅度为 2mV—100mV 之内，以及能引起听觉的声音频率 20Hz—2kHz 范围之内无失真的放大 2—10 倍有效地对红外光进行光强调制并发送。图 11 为接触式普通红外窃听发射装置电路图

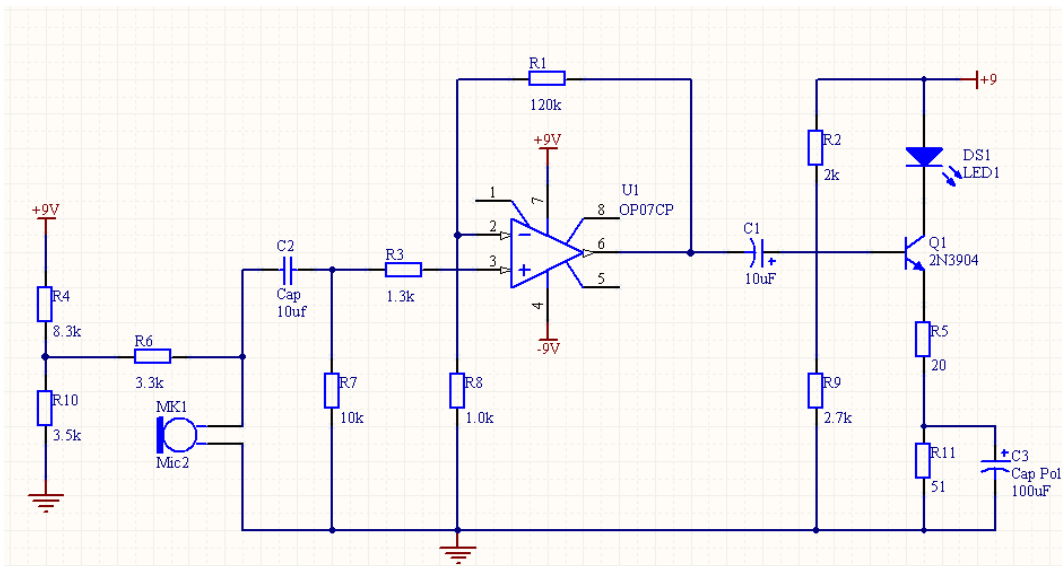


图 11 普通红外窃听发射装置电路图

需要说明的是，在我们实际操作时，红外发射头采用的是多个并联方式，已解决发射功率和发射角度的问题。

### 3.3 接收装置

接收装置主要是包括光电探测器，光学接收系统以及电信号处理系统。接收装置整体框图如图 12 所示。



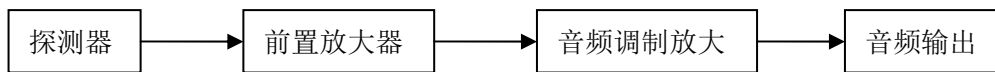


图 12 接收装置整体框图

激光光电探测器选用硅光电探测器，工作范围在 400-1100nm 之间，不需要进行专门的冷却。硅光电二极管对红外光敏感，能够将不同的红外光能量转化为不同的电信号，进行解调。

红外光电探测器选用红外接收光敏二极管，能够接收红外光线，便于红外的接收和解调。图 13 中探测器为 D1。

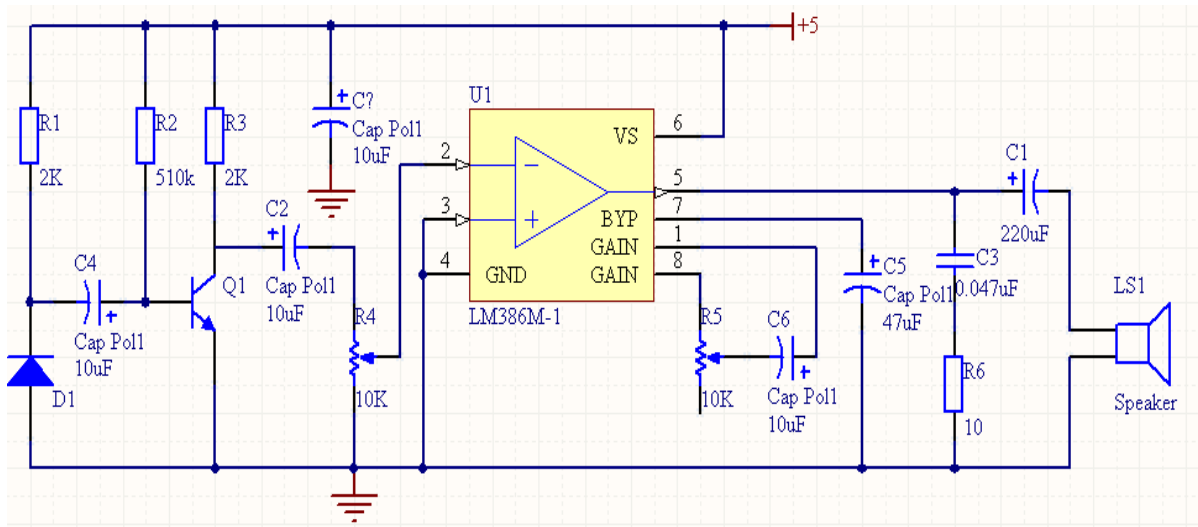


图 13 接收装置电路图

前置放大器的增益应该根据探测器输出电压，以及音频放大器的输入电压进行选择和设计，本系统的增益选择为 30dB。这里选择三极管构成前置放大电路，使其灵敏度能够达到一定的要求，因为经过探测器转化的电信号非常微弱，所以在前置放大环节中应该保证对微弱信号的准确放大。另外在信号输出端前加入高频滤波器，滤除环境中恒定低频信号的干扰，使最终的接收效果和灵敏度显著提高。

音频放大器采用低噪声低功耗音频集成功放 LM386，LM386 并且具有上升跟随率高、瞬态失真小、外围电路简单、使用方便等特点。由 LM386 构成的音频放大电路的放大倍数可达到 50~200 倍，功率可达到 2.5W，电压增益为 50dB，经其输出的信号可直接驱动扬声器。

#### 4 测量数据与分析

实验中使用的窃听声源为放在正面为透明玻璃面的密闭盒子内收音机，将收音机的音量调小，至从盒子外基本听不到声音为止，以便检测激光窃听的效果。

普通红外窃听方式中，红外发射头稳压约为 1.4V，设计工作电流 300mA，则发射功率约为 0.42W。发射头共八个，每个发射功率为  $0.42/8=54\text{mW}$ 。在此条件下，实验效果如表一：

表一：普通红外窃听的距离与窃听效果对照表

| 与声源的距离 | 声音效果（室内条件）       | 效果分析                  |
|--------|------------------|-----------------------|
| <3m    | 一切微小抖动都能清晰听到     | 近距离红外传输损失小            |
| 3~10m  | 能比较清楚的听到声源的声音    | 中距离红外角度发散，微小抖动无法分辨    |
| >10m   | 效果急剧下降，基本听不到声源声音 | 较远距离红外能量大量损失，难以分辨声源声音 |

试验激光窃听时，为方便调整光路，在实验中我们采取的光源是二极管激光器输出的 670nm 的可见红光，实验时，调整发射装置的位置，使半导体激光器发射的激光照射到密闭盒子的透明玻璃面中央，同时在另一端用接收装置对准反射回来的激光光点，就可以听到声源的声音了。如果在声源处加上平面镜增加反射效果，则窃听效果更加清晰。

不同距离光强的变化如下表：（激光发射功率为 5mW，室内条件测量）

表二：接收距离与光强的关系

| 接收装置离反射面距离（m） | 接收激光功率（mW） |
|---------------|------------|
| 0.5           | 3.3        |
| 1             | 3.2        |
| 3             | 2.6        |
| 5             | 1.2        |
| 7             | 0.7        |
| 10            | 0.3        |
| 20            | 0.09       |

由上表可知，激光在距离较近时功率改变很小，随着距离的增大激光慢慢发散，集中性变差，激光光强变弱。但要指出的是，在比较远的距离，由于功率计接收头接收面积有限，用功率计测得的功率并不是整个激光的功率。

由于激光有着很好的方向性，能量集中，传播过程中不易受到干扰，因此在 10m 之外都可以清楚地听到声源的声音。我们测试的最远距离约为 50m（经过了两次反射）。限于实验室条件，无法在更远范围内进行实验，但由于激光的散射性较小，可以预测在更远范围内窃听效果也有希望窃听到声音。

但是在 10m 之内的范围内，试用激光窃听会有较大的噪声，效果不佳。我们分析，距离太短，激光随震动变化的角度越小，激光越集中，则反应在硅光电二极管的光强变化不明显，从而影响了声音效果。

由于周围环境的振动，以及风等其他自然因素的存在，会使玻璃面产生轻微振动，导致窃听过程中有一些噪声出现，但在接收装置的设计中已考虑到上述因素，加入了高通滤波器部分，滤除该低频噪声，使噪声降低，整体窃听效果基本满意。

接收装置采用前置放大部分放大增益为 30 dB，具有较高灵敏度和输出高频滤波的作用，音频调制放大部分放大倍数为可调节的 50~200 倍，电压增益为 50 dB，功率可达 2.5W。

## 5 制作成本（明细）

表三：制作成本明细表

| 名称              | 数量            | 单价（元）        |
|-----------------|---------------|--------------|
| 5mw（650nm）激光发射器 | 1             | 15           |
| 红外发送管 303       | 8             | 1            |
| 红外接收管 202       | 1             | 1            |
| OP07            | 1             | 2            |
| 耳机插孔            | 1             | 1            |
| 光电二极管           | 1             | 1            |
| Lm386           | 1             | 2            |
| 8050 三极管        | 2             | 0.5          |
| 滑动变阻器           | 22k、10k 各 1 个 | 3            |
| 耳机              | 1             | 2            |
| 9v 干电池          | 1             | 3            |
| 印制板             | 2             | 4            |
| 电阻              | 若干            | 2            |
| 电容              | 若干            | 5            |
|                 |               | <b>合计：53</b> |

## 6 结论

我们在本次试验中，分别实验了接触式普通红外的窃听方法和非接触式激光窃听方法，分析比较了二者的优缺点，并提出了将二者融合，优势互补，从而实现不同条件下都能窃听的目的，窃听效果清晰，并一定程度上降低周围环境带来的噪声干扰。在实验过程中，我们发现以红外传输为基础的接触式窃听方式，虽然在短距离窃听中有明显的优势，但是需要在窃听源上安装附件才能实现，并且在远距离窃听时，效果不理想。通过大量的实验，我们逐步完善设计思路，提出了以激光窃听为主，两种窃听方式优化组合的方案。优化实验装置的各个组成部分，最终基本实现实验构想，达到实验目的。

激光窃听作为一种比较新的窃听手段，同普通红外窃听方式相比确实有着独到的优点，无须靠近目标，操作方便，不易察觉，不易受到干扰等优点。但是激光窃听受天气、环境影响较大，和窃听目标周围反射面性能也有较大关系，进行更远距离作业时系统比较复杂，这些都是激光窃听技术进一步发展的方向，也是我们的方案需要完善的地方。

### 参考文献：

- [1] 罗海俊，朱晓. 激光窃听技术的研究[J]. 激光与光电子学进展, 2003, 40( 12): 53—56.
- [2] 张利娜，洪显昌, 红外通信的设计与实现[J]. 通信与信息技术, 2008, 23:87--89
- [3] 谷锁林，孙华燕，张水继，等. 空中目标的激光主动探测[J]. 激光与红外, 2005, 35(7):476—478
- [4] 红外通信收发系统的设计与实现[M]. 北京邮电大学电路中心. 2008,3.