

爱上科学

Science

全国优秀科普作品

中国工程院院士寄语 中国科学院国家天文台首席研究员作序

美国科学院院士，麦克阿瑟天才奖得主力荐

与物理学博士一起亲手“做”科学

PHYSICS

极客 物理

在科学实验中
探索物理之美

(卷2)

薛加民 / 著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

PHYSICS

极客
物理



在科学实验中
探索物理之美

(卷2)

薛加民 / 著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

极客物理：在科学实验中探索物理之美. 卷2 / 薛加民著. — 2版. — 北京：人民邮电出版社，2017.9
(爱上科学)
ISBN 978-7-115-46431-6

I. ①极… II. ①薛… III. ①物理学—实验—普及读物 IV. ①04-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第169431号

内 容 提 要

全息成像、激光传声、磁悬浮……本书让你通过身边的有趣实验完成前沿科技的奇妙体验。这是一本关于物理学的原创科普图书，作者用独特的视角与方式，深入浅出地为你揭秘光、电、磁等物理学领域的专业知识；这是一本面向喜欢动手的科学爱好者的指导手册，让你在轻松完成有趣物理实验与制作项目的同时，探究出“高科技”的奥秘。全套共2卷，此为卷2。如果你是科学爱好者，不要错过这本书，它让你眼界大开；如果你是学生，无论是在读中学，还是大学，不要错过这本书，它告诉你“动手学科学”的方法与思路；如果你是科学工作者或科学老师，不要错过这本书，它专业的解读和翔实的介绍，会为你提供不一样的科学视角。

◆ 著 薛加民

责任编辑 魏勇俊

责任印制 周昇亮

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京方嘉彩色印刷有限责任公司印刷

◆ 开本：880×1230 1/24

印张：6.5

2017年9月第2版

字数：206千字

2017年9月北京第1次印刷

定价：59.00元

读者服务热线：(010)81055339 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广登字 20170147号

前言

“

科学家和小朋友的差别，仅在于他们玩具的价格

”

亲爱的读者，你想知道激光笔发出的光为什么那么集中，颜色为什么那么单一吗？你想知道磁悬浮列车是怎样运行的吗？你想知道信息是怎么在光缆里传送的吗？你想知道全息照相是怎么回事吗？

有读者会说了，这还不简单，有问题上百度、Google 搜索一下呗！

但是，正如古人所言，“纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行。”唾手可得的知识往往迅速被遗忘，而亲手验证过的知识却能铭刻于心，亲手做科学实验，正是本书的宗旨。通过阅读本书，读者将和我一起，通过搜集一些不难得到而且便宜的材料，亲自动手实验来一步一步解答我们心中对于科学的一些疑问，体验一些平日里看起来遥不可及的“高科技”。我们将通过解剖一支激光笔来了解激光产生的原理（你会发现激光并不一定生来就是一束细细的光线！）；我们将通过制作磁悬浮装置来实践极其丰富的物理、电子知识（把做好的装置展示给朋友们看，一定会让他们惊讶！）；我们将用一束激光来传递声音（现代光纤通信的鼻祖）；我们将用两三个部件来亲手工制作一张全息相片（真正的 3D 相片在你的双手中诞生）。想了解其他更多有趣而且科学含义深刻的实验，请浏览本书目录。其中每一章都是一个完整的实验，有理论简介、材料选择、制作过程和拓展加深。

市面上有不少关于动手制作的书，但大部分都是关于电子制作的，而关于科技制作的书（或网站）则大多属于“小学生科技制作”之类，读起来有点“幼稚”。本书

的读者将以喜欢动手的科学爱好者为主，制作的内容都有比较深刻的科学含义（主要是物理学），很多还能联系到当今科学研究的前沿。虽然如此，每个实验的基本原理都是高中知识水平就能理解，制作过程也非常简单，如果牵涉到比较复杂的科学，书中都尽量以高中知识为基础加以解释，并提供相关的资料来源供读者进一步学习研究。制作所需要的材料，都是能从网上买得到的、老百姓买得起的东西。

著名的物理学家费曼在他的《别闹了，费曼先生！》（强烈推荐读者阅读）一书中提到了这么一个故事：“师生不求甚解，教科书也是：‘摩擦发光(Triboluminescence)：当晶体被撞击时所发出的光’这样的句子，只是教名词，只是用一些字说出另一些字，一点都没提到大自然——没有提到撞击什么晶体会发光。学生看了，会不会想回家做实验呢？不会，他们根本不知怎么做。可是，如果你写‘在黑暗中拿钳子打在一块糖上，会看到一丝蓝光。其他晶体也有此效果，这叫作摩擦发光。’那么就会有人回家试着做，这是一次与大自然的美妙相遇经验。”由此可见，大师对于“动手实践”的推崇。我在读了费曼的这个故事后，找来了冰糖进行尝试，并未成功。后来搜索查询，得知要用不透明的硬糖来做这个实验，原因不详。于是我买了一袋水果硬糖，放在一个玻璃瓶里，在黑暗里使劲摇晃。果然！能看到撞击下的糖块发出星星点点的蓝色微光！

读者在尝试本书中的实验时，很有可能会一次又一次地遇到我上面提到的情况，一开始遇到些挫折是非常正常的。毕竟书中的实验都比较“高科技”。每个人所能得到的材料略有差别，或者有一些细小的问题文中没有提到。实际上，本书将会着重突出原理和制作的关键，把细节问题和细微设计留给读者自己完成，这样读者就会把本书当作引导，当作“idea”的来源，而不是按部就班地机械重复（大学生朋友们一定记得，自己的实验课本是如何让我们只能按部就班地按几个按钮，抄录一些数据，把一个个有趣的实验活生生地变得索然寡味，把与大自然的美丽邂逅变成老师安排的形式化的“相亲”）。

读者会发现，正是那些大大小小的可以被克服的挫折让实验的过程充满挑战，让成功的喜悦倍加珍贵。相信通过亲手尝试，你能够一次次地“与大自然美妙地相遇”！

薛加民

推荐序

2012年我和薛加民博士在美国偶遇，我们都深受一位老科学家的影响，认为作为研究人员，做一些科普工作非常重要，并且应该注重科学上的新发现、新发展和科学思想的传播。当收到本书的部分书稿时，我先睹为快，阅读时颇有惊艳之感。我认为这是一部极有特色的好书，因此我愿向爱好科学的读者，特别是喜爱物理学的青年读者们热烈推荐。

科学和技术支撑着现代社会的运转，其重要性自然无须多言。但是对于很多不从事科学研究的人来说，科学更像是一种魔法，需要它、使用它，却并不了解它。所谓科学家，固然是一种职业身份，但其实更根本的区别则在于能否以科学之眼光看世界，以科学之方法探寻事物规律。就此而言，一个人不必非从事职业研究工作，如能掌握科学的方法和一些基本的科学知识，也完全可以称为科学家，或者至少可说是具有科学素养的人。提高国民的科学素养，于国家之文明、发达有极大关系，本书之旨正在于此。

其实，许多基本的科学原理和知识，在中学、大学课程里都有，现代一般受过教育的人都曾学过，但为什么对于许多人来说，它仍然显得那么神秘呢？著名美国物理学家费曼在他那本《别闹了，费曼先生》（Surely You are Joking, Mr. Feynman）中有一段关于他20世纪50年代访问巴西并在那里教物理的故事，也许可以说明这个问题。在巴西上了一段时间课以后，费曼在一次会议上直言不讳地抨击了当时巴西的物理教学方式：孩子们从很小的时候就开始学习物理，课程内容很多、很难，

学生们学习很勤奋，考试成绩优秀，但课程结束后他们却并不真正理解物理，因为他们仅仅是死背下了一些定义和公式，却完全不知道怎样把他们所学的知识用到实际当中。我想，中国读者看了费曼这段话后，恐怕都会心有戚戚焉——很大程度上，这也是我们中国教育（还不仅仅是物理教育）之弊，也许在很多方面我们还有过之而无不及。

但是，在教育上，指出存在的问题比较容易，找到好的解决方案却很难。在改进教育方面，需要的主要不是“破”，而是“立”，解决的方案不应该是废除理论学习，而是要增加在实际运用方面的训练。但这又是很难的，因为具体应用很难像一般原理那样可以直接写在书上，并且很多教师自己也同样不会实际应用。改革开放后，这一问题也还是没有解决，高分低能、动手能力弱一直是中国学生中普遍存在的问题。

如果说课堂讲授和书本学习有一定局限性，动手的物理实验是否能成为理论与实际之间的桥梁呢？从原则上讲应该是这样，但遗憾的是，就我所见，目前的中学和大学物理实验课程在这方面的作用非常有限。现有课程中的实验内容比较单调、枯燥，大多是验证某个原理或定律。由于安排教学的需要，这些实验都是预先安排好的，所用的实验设备由教师预先采购、安装，学生只能是按照实验手册上给出的方案操作，而很少有自己设计、探索、动脑的余地。近年来，为了方便教学，中学和大学物理教学实验设备越来越“高级”，越来越简单化、自动化，学生从中得到的训练也就越来越不足。做完之后未必能加深理解，更谈不上训练学生将所学知识

运用到实际中去。

本书也许可以在增强读者的动手能力、加深对物理学原理的理解、锻炼实际应用能力方面发挥相当好的作用。和大多数科普书内容不同,本书不是仅仅“坐而论道”,讲一些科学知识或者科学史上的故事,而是把物理学知识和一些读者可以自己做的小实验结合起来。

比如,在本书卷1第3章“沿弧线传播的光”中,就介绍了一个用透明盒子、冰糖、水和激光笔这些简单材料就可以进行的一项有趣的物理实验:让光沿着弧线传播。这一实验虽然简单,读者却有很大的空间自己思考、探索、体会。而且,这一简单实验涉及的物理知识也是多方面的,不仅有光学折射方面的知识,而且还包括统计物理、作用量原理等——这也正是实际运用中经常出现的情况:和教学与课堂练习时分成一个个各自独立的单元不同,在实际运用中往往需要综合运用多方面的知识,而不仅仅是局限于某一个单一的原理或定律。实验当中,一些并不起眼的细节有很大的影响,本书的作者对这些也颇为注意,根据自己做这些实验的体会提醒实验者。本书并非教科书,无须过多顾及教学大纲安排,而可以兴之所至,发挥自如,正可以弥补传统的物理实验课程之不足,这是其一大优点。

本书在内容上有许多新颖之处,文笔也非常风趣。比如,Andrey Geim 教授2010年获得了诺贝尔物理学奖,而有趣的是他此前还因为让青蛙悬浮而获得了哈佛大学的搞笑诺贝尔(Ig Nobel)奖。虽然名为搞笑诺贝尔奖,此奖其实颇有深意。本

书卷1第7章对此娓娓道来，与之相联系的卷1第8章，又介绍了磁悬浮陀螺。这些实验不仅有趣，更重要的是，简单的实验现象背后隐藏着深刻的物理学原理，因此做这些实验不仅“动手”，也要“动脑”，启发读者深思，也教会读者如何用数学、物理学的方法分析实验现象。说到这里，我不禁想到，其实在我国，固然动手能力弱的人居多，但也有一些动手能力很强而缺乏理论知识的民间人士，比如有农民自己试制飞机、机器人等的，本书对于他们，也许可有开阔眼界之功。

总之，我觉得本书实为一本不可多得的科普佳作，非常适合大、中学生和科学爱好者阅读，即使是已经身为科学家的专业研究人员，比如我自己，阅读本书也有许多收获。希望读者能在这些有趣的实验中，体味物理规律之奇妙，并能有自己的创新和发现。

陈学雷博士

中国科学院国家天文台

宇宙暗物质暗能量组首席研究员

目录



激光传声 11

重返光的缤纷乐园。你将了解到如何通过搭建一个简单的电路，并利用激光充当看不见的导线，在两地之间传递声音信息。



Feed the Monkey 23

本章将带领大家制作一件非常有趣的装置，生动地演示力学中一个古老的问题。



做老百姓自己的全息 37

一种非常有趣的制作 3D 照片的方法：全息技术。



五角星引发的物理学 57

由分析五角星涉及的光波的衍射现象入手，你会发现只有 5 个角的星星是不存在的。



大音叉 小音叉 71

各种音叉的有趣故事。通过测量普通音叉在发声时声音强度在空间中的分布，我们可以探索声波的干涉现象，并澄清一个由来已久的误解。



给太阳量体温 85

如何用非常简单的材料自制光谱仪。通过分析太阳的光谱成分，我们可以遥测出太阳的温度。



像“砖家”一样使用照相机 103

本章从业余科学家的角度出发，介绍摄影的基本要素，以解除长期以来只会使用自动模式拍照的广大文艺和科学青年的困惑。



PID控制原理与实践 115

这是一个非常好用的控制方法：PID 控制。理解了它的来龙去脉后，你会发现它其实非常直观易懂。

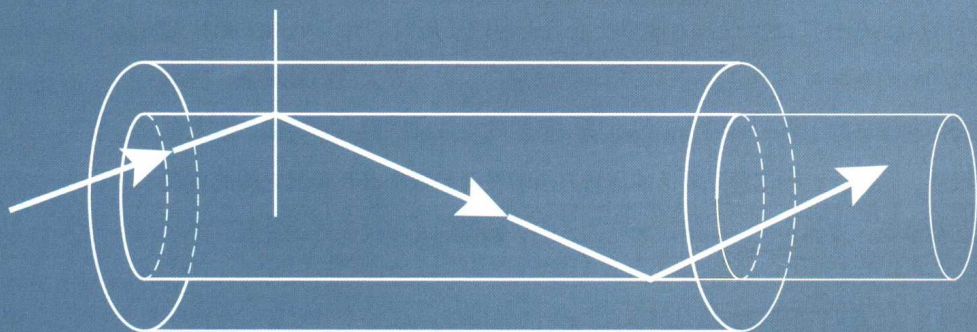


镜观宇宙四百年 137

在本章中，你将看到如何用简单易得的材料制作折射式和反射式望远镜。它们的基本放大原理、倍率计算等理论也将得到介绍。我们还将通过实地考察带大家了解当今最先进的光学望远镜的研发实验室，领略当代天文学家在探索宇宙时所用天文台的无限风光。

激光传声

1



一分钟简介

本章^[1]将暂别磁的神奇世界，重返光的缤纷乐园。你将了解到如何通过搭建一个简单的电路，并利用激光充当看不见的导线，在两地之间传递声音信息。就此衍生开去，我们还将了解现代光纤通信技术的基本原理。

”

闲话基本原理

1880年2月的一天，美国首都华盛顿，天寒地冻，万里无云，是冬天里难得的一个大晴天。大街上熙熙攘攘，没有人注意到街边一栋小楼顶上一个中年男子站在一台奇怪的机器面前，手舞足蹈地说着话。两百多米以外的另一栋小楼顶上，一个年轻人同样站在一台类似的机器面前，也在兴奋地说着，他们面对着彼此指手画脚，似乎在聊天。但是这么远的距离能听到彼此吗？几天后，《纽约时报》等各大报纸都刊登了一条消息，电话的发明者Alexander Bell（亚历山大·贝尔）博士和助手Charles Tainter先生的最新发明：用阳光传递声音的机器！

这便是世界上第一台用光传递信息的无线通信设备Photophone（光电话）。贝尔认为这是他一生中最重要的工作，他是如此中意这项发明，甚至想把自己将要诞生的女儿命名为“Photophone”（被妻子及时制止了）。然而Photophone并没有像贝尔几年前发明的电话那样广泛流行，人们总不能天一黑就不能打“光”电话了吧！这项超越时代的发明渐渐被人遗忘，它仅仅短暂地出现在二次世界大战的战场上，被用作战舰之间传递信息的工具——因为无线电通信所用的电波向四面八方传播，敌人在远处用天线就可以截获；而这种光电话的信号只沿着发射装置和接收装置之间的直线传播，无法被偷听。直到20世纪60年代激光的发明，20世纪70年代光纤的进展，贝尔

[1] 本章是对我在《无线电》杂志2012年第4期发表的一篇文章的改写和扩充。

Photophone的基本原理被发扬光大，形成了高流量、低成本、远距离的现代光纤通信技术。毫无疑问，当今世界的运转已经离不开那一根根埋在泥土底下和大洋深处的光纤了。贝尔泉下有知，当会为自己的高瞻远瞩而欣慰。

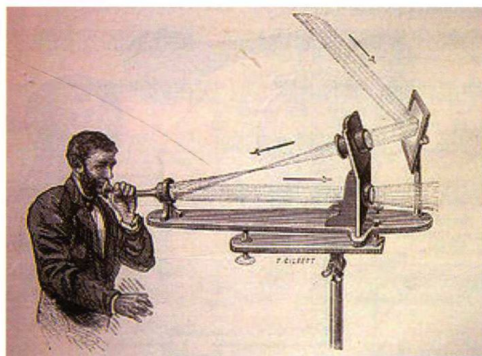


图 1.1 光电话的发射端（取自维基百科“Photophone”词条）

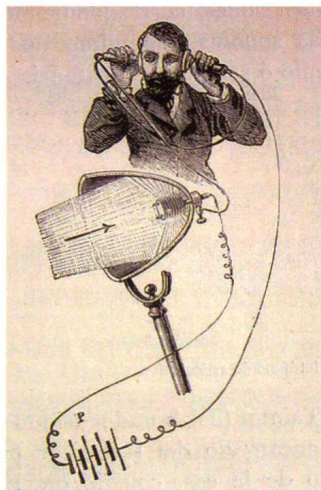


图 1.2 光电话的接收端（取自维基百科“Photophone”词条）

图1.1和图1.2生动地再现了当年贝尔和助手Tainter进行实验的场景。在图1.1中的发射端，一束明媚的阳光（近似平行光线）通过平面镜的反射以及透镜的汇聚以后变成发散光线，落到一个话筒上，它是一个圆筒，末端装着一面很薄的镜子。对着话筒说话产

生的空气振动能够让镜子微小地改变形状。随着声波的频率，它时而变成凹面镜，导致其反射的光束发散程度减少；时而变成凸面镜，导致其反射的光束发散程度增加。在接收端，一个抛物面形的反射镜用来接收发射端送来的光线。发散程度小的光束几乎完全能被反射镜接收到，而发散程度大的光束经过长距离传输后，散得比较开，只有一部分光被反射镜接收，其余部分落到了反射镜外面。接收到的光被抛物面形的反射镜汇聚到焦点上，那里放着一块晶体硒，其作用类似于现在的光敏电阻，电阻值会随着光照强度而变化。如果在它两端接上电池，这样光的强弱信号就被转化成了电流的强弱信号，从而推动扬声器发声，完成了从声到光，从光到电，从电到声的转换过程。

在接下来的“动手实践”一节中，我们将用便宜的激光二极管代替贝尔的阳光，来重现这一有趣的发明。

我们将要制作的激光传声器是这样工作的：

激光二极管发光的强弱可以由加在它两端的电压决定，而电脑耳机插孔里输出的，是一个随声波振荡的电压信号。如果我们把这个电压信号加到激光二极管两端，激光的强弱就会随声波信号振荡了，这就是我们的发射端（电路如图1.3所示）。如果你读了本书的第4章，制作了其中的微波探测电路，那么看到图1.3应该会觉得眼熟，它也是一个由运算放大器引入负反馈构成的放大电路。因为电脑耳机插孔输出的音频电压波动幅度较小，需要通过放大才能引起激光二极管亮度的明显变化。细看图1.3的电路，我们会发现与第4章不同的是，那里的信号是连接到运放的正极输入端，而这里的信号是连接到运放的负极接入端。另外，一个可变电阻产生的可调电压连接到了运放的正极输入端。在第4章里我们提到了具有负反馈的运放的特点是正负极输入端的电压基本一致，而且电流基本不通过输入端流入运放。我们可以方便地把这两个特点记忆为“虚短”和“虚断”。所谓虚短，是指正负极输入端就好像短路一样，所以它们的电压一样；而虚断是指正负极输入端也可以看成与运放断开了，所以它们与运放之间没有电流流动。记住了这两个词，分析运放负反馈电路就变得容易了。根据“虚短”原则，如果可变电阻输入运放正极输入端的电压是 U 的话，那么它的负极输入端电压也是 U 。根据“虚断”原

动手实践

则, 这个 U 在 $10\text{k}\Omega$ 电阻上引起的电流完全流过 $51\text{k}\Omega$ 的电阻, 所以可以得出运放加到激光二极管两端的电压就是 $(U/10\text{k}\Omega) \times (51\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega) = 6.1\text{V}$ 。因为红色激光二极管的工作电压在 $2 \sim 4\text{V}$, 所以我们可以通过调节可变电阻来使得电路在音频信号为零的情况下输出大约 3V 的电压。加入了音频信号以后, 运放输出电压可以在 $2 \sim 4\text{V}$ 波动, 以保证既不会使激光管烧毁, 也不会使它完全不发光。

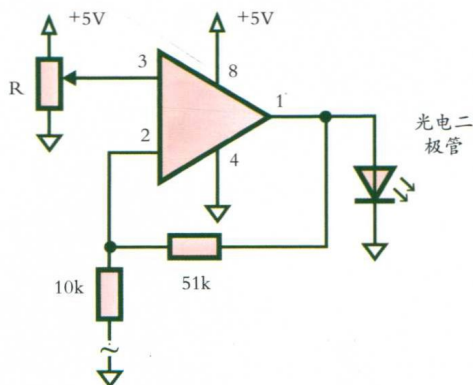


图 1.3 发射端电路

和第4章的电路一样, 这个电路对音频信号的放大倍数也可以由引入负反馈那两个电阻值计算出来: $(51\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega)/10\text{k}\Omega$ 。我们可以这样来理解: 假设原本音频信号为零, 运放负极输入端电压为 U 。此时幅度为 s 的音频信号引入 (s 比 U 小), 那么加在 $10\text{k}\Omega$ 电阻两端的电压减小为 $U-s$ 。所以流过 $10\text{k}\Omega$ 电阻的电流变为: $(U-s)/10\text{k}\Omega$ 。注意到, 运放的输入端不提供也不吸收电流, 从而运放输出电压为: $[(U-s)/10\text{k}\Omega] \times (51\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega)$ 。对比输入音频为零的情况, 我们得出音频信号放大倍数为 6.1倍。选择这个放大倍数的原因是我用万用表测量到电脑耳机插孔输出的音频信号的幅度大约为 0.2V , 所以通过放大6倍, 可以使得运放的输出在 $2 \sim 4\text{V}$ 变化。

由于电路简单, 我们可以直接把它焊接到洞洞板上 (见图1.4实物图), 其中的音频信号用一根耳机线从电脑引出来。注意图1.4使用的耳机线只有一个声道, 所以只有两根线; 而一般的耳机线有左右两个声道, 所以有4根线。读者朋友可以通过万用表很容易地测量出哪根线对应于哪个声道, 我们的电路只需要其中一个声道就可以了。测试电路时, 首先电脑不播放声音, 用万用表测量运放的输出, 通过调节可变电阻来使得它为

3V左右。然后电脑以最大音量放音乐，我们应该能看到激光亮度的明显变化，这样发射端的电路就做成了。如果你的电路只能让激光点亮，却不能让它的亮度有所变化，有可能是音频信号线没有焊接好，也有可能是运放的输出电压进入了饱和状态。因为运放电路输出的最大电压是比它的电源电压略小的，如果采用3V的电源，则运放的最大输出为2.5V左右，此时即使有音频信号输入也不能对它产生调节作用。所以应使用5~6V的电源电压（4节1.5V电池），并确保无音频信号输入时运放输出电压为3V左右。

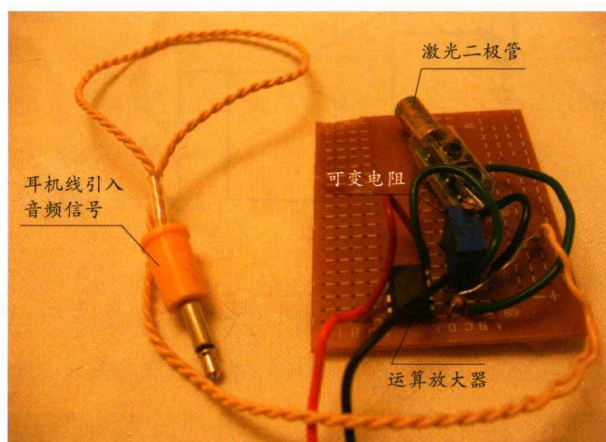


图 1.4 发射端实物图

接下来，我们要制作类似于图1.2所示的接收端，把强弱变化的激光信号转换成电信号并用音箱输出。我们可以使用光电二极管来实现这种转换，电路见图1.5，实物图见图1.6。

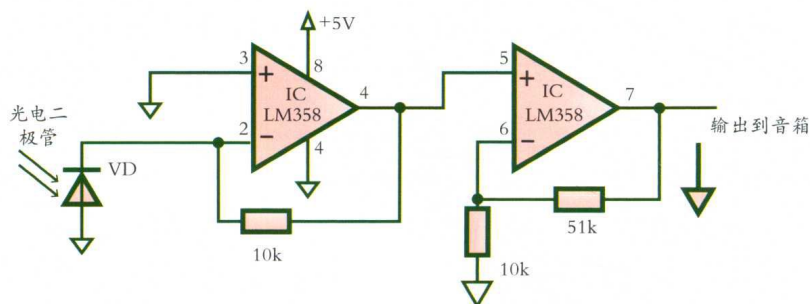


图 1.5 接收端电路