

四色全彩



光与影的魔幻乐园：

# 有趣的透镜

〔日〕桑嶋 干/著

潘路军/译



相机镜头怎样成像？

眼睛与眼镜如何让我们看清世界？

从丰富多彩的透镜中

体验最先进的光学技术……



科学出版社



光与影的魔幻乐园：

# 有趣的**透镜**

〔日〕桑嶋 干/著

潘路军/译



科学出版社

北京

图字：01-2011-4287 号

## 内 容 简 介

在我们生活的世界中,各种各样的事物和现象,其中都必定包含着“科学”的成分。在这些成分中,有些是你所熟知的,有些是你未知的,有些是你还一知半解的。面对未知的世界,好奇的你是不是有很多疑惑、不解和期待呢?!“形形色色的科学”趣味科普丛书,把我们生活和身边方方面面的科学知识,活灵活现、生动有趣地展示给你,让你在畅快阅读中收获这些鲜活的科学知识!

对眼镜、照相机、复印机、激光打印机等仪器设备来说,透镜、镜子等光学器件绝对不可或缺!本书正是为那些对光学和透镜感兴趣的人们特别准备的。有趣的科学、实用又先进的技术、清新愉悦的阅读体验,欢迎到这座神奇的光影魔幻乐园畅游一番!

本书适合青少年读者、科学爱好者以及大众读者阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

光与影的魔幻乐园:有趣的透镜/(日)桑嶋 干著;潘路军译.—北京:科学出版社,2011

(“形形色色的科学”趣味科普丛书)

ISBN 978-7-03-031885-5

I. 光… II. ①桑…②潘… III. 透镜-普及读物 IV. TH74-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 143834 号

责任编辑:唐璐 王炜 赵丽艳 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:柏拉图创意机构

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

**科 学 出 版 社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京美通印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011 年 8 月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2011 年 8 月第一次印刷 印张:7

印数:1—6 000 字数:196 000

定 价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



## 拥抱科学，拥抱梦想！

伴随着20世纪广域网和计算机科学的诞生和普及，科学技术正在飞速发展，一个高度信息化的社会已经到来。科学技术以极强的渗透力和影响力融入我们日常生活中的每一个角落。

“形形色色的科学”趣味科普丛书力图以最形象生动的形式为大家展示和讲解科学技术领域的发明发现、最新技术和基本原理。该系列图书色彩丰富、轻松有趣，包括理科知识和工科知识两个方面的内容。理科方面包括数学、理工科基础知识、物理力学、物理波动学、相对论等内容，本着“让读者更快更好地掌握科学基础知识”的原则，每本书将科学领域中的基本原理和基本理论以图解的生动形式展示出来，增加了阅读的亲切感和学习的趣味性；工科方面包括透镜、燃料电池、薄膜、金属、顺序控制等方面的内容，从基本原理、组成结构到产品应用，大量照片和彩色插图详细生动地描述了各工科领域的轮廓和特征。“形形色色的科学”趣味科普丛书把我们生活和身边方方面面的科学知识，活灵活现、生动有趣地展示给你，让你在畅快阅读中收获这些鲜活的科学知识！

愉快的阅读、让你拿起放不下的有趣科学知识，尽在“形形色色的科学”趣味科普丛书！

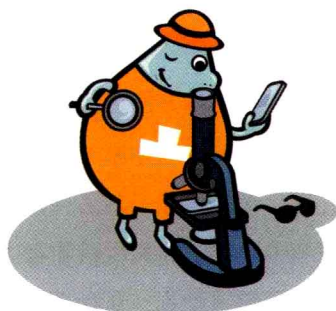
## 出场人物介绍

### ★ 青蛙：跳跳



本书的主角。擅长制作各种小玩意儿，对任何事物都抱有浓厚的兴趣。渴望着将来亲自制造出具有划时代意义的产品。

### ★ 向导



小凸透镜（爱称胖仔）天真烂漫的性格，擅长总结性思考。以收藏眼镜而自豪，和瘪肚是要好的伙伴。



小凹透镜（爱称瘪肚）虽有些神经质，但实际上擅长于将事情放大了来解释。是不可貌相的“大肚汉”。和胖仔在一起时，具有矫正的技能。

## 前言

在我们身边,有许多利用光的产品,如照相机、望远镜、CD/DVD 播放器、复印机、激光打印机等。透镜和反光镜等光学部件就是支撑这些光学仪器的关键器件。当今透镜是支撑先进技术的基础性工具,肩负着必须在新技术诞生之前先行进化的使命。因此,透镜是随着人类智慧的发展而不断进化的工具。

大家拿到这本书,可能是因个人对透镜感兴趣而希望学习的,也可能是由于工作关系必须要了解透镜的。查找有关透镜的书,可以发现有许多专业书籍,而简单的入门书籍则很少见。利用光学的入门书籍也可以学到透镜的原理和功用,但它们毕竟不是以透镜为主题,学不到有关透镜的全面综合的知识。因此本书是考虑到对非透镜专业的人,即使自认为对物理知识不那么精通的人,作为一本能浅显易懂地学习从光学的基础知识到透镜的基础知识及其应用的入门书而执笔的。

笔者曾在 2005 年得到写作「図解入門 よくわかる最新プラスチックの仕組みとはたらき」(秀和 System)这一入门书籍的机会,这本书极力避免和透镜无关的光学知识以及有关透镜复杂应用例子的解说,取而代之的是想要更深入地挖掘和解释在透镜学习上所必需的知识。同时,由于本书是彩色版的,因此在作图顺序的说明上下了功夫。对于各位读者朋友而言,本书若能够起到打开透镜世界之门的作用,或者起到连接透镜专业书的桥梁作用的话,我将无比欣喜。

最后,对给予本书的执笔机会,承担编辑工作的 SOFTBANK Creative(软银创作)的中右文德先生及各位同仁致礼。

桑嶋 千





### 第 1 章 浅谈透镜

- 001 透镜是巧妙利用光的折射而发明的工具 ..... 2
- 002 透镜的历史 ..... 4
- 003 将小物体放大观察的显微镜的历史 ..... 6
- 004 将远处的物体移近观察的望远镜的历史 ..... 8
- 005 记录透镜所成像的照相机的历史 ..... 10

### COLUMN 透镜(lens)的词源 12

### 第 2 章 光的行为举止

- 006 光的直线传播和可逆性 ..... 14
- 007 光的反射定律 ..... 16
- 008 光在平面镜上的反射 ..... 18
- 009 光的漫反射 ..... 20
- 010 通过透明物体的光 ..... 22
- 011 光在物质的界面弯曲 光的折射 ..... 24
- 012 光选择什么样的路径传播 费马原理 ..... 26
- 013 斯涅尔定律① ..... 28
- 014 斯涅尔定律② ..... 30
- 015 空气的扰动使光弯曲① 阳炎和逃逸之水的原理 ..... 32
- 016 空气的扰动使光弯曲② 海市蜃楼和蒙气差的原理 ... 34
- 017 通过三棱镜得到的彩带 光的色散 ..... 36
- 018 天空中飘起光的彩带 彩虹的形成原理 ..... 38
- 019 彩虹为什么是圆弧形的 ..... 40
- 020 光的本性是波还是粒子① 光的衍射 ..... 42
- 021 光的本性是波还是粒子② 光的干涉 ..... 44

022	光的衍射和干涉所引起的彩虹 肥皂泡和 CD 盘上的彩虹原理 .....	46
023	光是纵波还是横波 偏振① .....	48
024	偏振眼镜和布儒斯特定律 偏振② .....	50
025	光是电磁波的成员 .....	52
026	光速是多少 .....	54
027	考虑到光的行为举止的几何光学和波动光学 .....	56

**COLUMN 近场光——突破光的衍射极限的光 58**

**第 3 章 透镜的原理和作用**

028	点光源发出的光是怎样传播的 .....	60
029	影子的形成方式 .....	62
030	针孔成像 .....	64
031	针孔照相机成像 .....	66
032	透镜的基本原理 .....	68
033	凸透镜和凹透镜的基本功能 .....	70
034	透镜的焦点和焦距 .....	72
035	透镜的主点和主平面 .....	74
036	薄球面透镜焦距的计算方法 .....	76
037	光通过透镜后的传播方式 .....	78
038	凸透镜成的实像 .....	80
039	从无穷远处传来的光通过凸透镜后在哪儿成像 .....	82
040	凸透镜成的虚像 .....	84
041	遮住半个凸透镜后实像和虚像如何变化 .....	86
042	物体位于焦点的位置上时实像和虚像如何变化 .....	88
043	凹透镜成的虚像 .....	90
044	透镜的成像公式和放大率① 凸透镜成实像的情况 .....	92
045	透镜的成像公式和放大率② 凸透镜成虚像的情况 .....	94





046	透镜的成像公式和放大率③ 凹透镜成虚像的情况	96
047	透镜成像公式的总结	98
048	计算透镜放大率的另一个方法	100
049	透镜成像作图的技巧① 从光轴上的一点发出射向凸透镜的光线	102
050	透镜成像作图的技巧② 以任意倾角射向凸透镜的光线	104
051	透镜成像作图的技巧③ 光线通过凹透镜的情况	106
052	通过两片透镜的光线	108
053	凹面镜和凸面镜的原理	110
054	由凹面镜和凸面镜反射的光线	112
055	透镜的分类方法	114
056	利用界面折射的透镜① 球面透镜	116
057	利用界面折射的透镜② 非球面透镜	118
058	利用界面折射的透镜③ 柱面透镜	120
059	利用界面折射的透镜④ 环面透镜	122
060	利用界面折射的透镜⑤ 菲涅尔透镜	124
061	非利用界面折射的透镜① 格林(GRIN)透镜(渐变折射率透镜)	126
062	非利用界面折射的透镜② 衍射透镜	128

**COLUMN 光学超物质——具有负折射率的物质 130**

## 第 4 章 透镜的性能

063	制作透镜的光学玻璃所需的特性	132
064	光学玻璃的折射率	134
065	光学玻璃的阿贝数	136
066	光学玻璃的分类	138
067	玻璃之外的光学材料① 天然或人造晶体	140
068	玻璃之外的光学材料② 光学塑料	142

069	透镜制作① 球面透镜的制作方法	144
070	透镜制作② 非球面透镜的制作方法	146
071	什么是像差	148
072	什么是球差	150
073	球差的矫正	152
074	彗差和像散	154
075	像场弯曲和畸变	156
076	位置色差和倍率色差	158
077	像的大小和亮度	160
078	$F$ 值和有效 $F$ 值	162
079	数值孔径 $NA$ 和透镜的分辨力	164
080	光阑和光瞳	166
081	光阑的位置和焦阑	168
082	焦深和景深	170

**COLUMN 玻璃为什么是透明的**

172

**第 5 章 使用透镜的身边物品的原理**

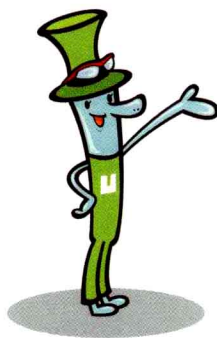
083	人眼的构造	174
084	眼睛的原理和功用	176
085	近视和远视	178
086	老花眼和散光	180
087	隐形眼镜的原理	182
088	放大镜原理	184
089	放大镜的放大率	186
090	光学显微镜的原理① 基本原理	188
091	光学显微镜的原理② 放大率和分辨力	190
092	望远镜的原理① 基本原理	192
093	望远镜的原理② 开普勒式望远镜的光路	194



094	望远镜的原理③	荷兰式望远镜的光路	196
095	望远镜的原理④	望远镜的放大率	198
096	望远镜的原理⑤	为什么要对焦	200
097	照相机的原理①	$F$ 值和快门速度	202
098	照相机的原理②	像角和焦距	204
099	照相机的原理③	数码相机的像角和焦距	206
100	进化的透镜	流体透镜的原理	208

**COLUMN** 像反转系统——将倒立像变为正立像来观察 210

参考文献	211
------	-----



# 第 1 章



## 浅谈透镜

刚开始我们不谈复杂的话题，先简单确认一下透镜到底是什么样的东西，接着简单回顾一下我们人类利用透镜的历史。



我们身边有许多利用透镜的工具，比如眼镜、放大镜、照相机、望远镜、显微镜等。此外，利用光技术的装置大多都使用透镜。例如 CD、DVD 等的驱动器、激光打印机和复印机等设备中透镜都是作为部件组装进去的。激光也被称为是“光技术的支柱”。

透镜是由玻璃或塑料等透明的物质制作而成的。透镜一般是圆形的，其单面或双面呈球面。球面外凸的叫**凸透镜**，球面内凹的叫**凹透镜**。凸透镜有聚光的作用，而凹透镜有散光的作用。

透镜的作用基于光的折射。比如装水的杯子里直的吸管看上去是弯折的，澡盆中手或指头看上去较短。像这样光从一种物质射入另一种不同物质时，在其界面具有改变传播方向的性质。这种现象叫光的折射。利用光的折射性质而自由自在地聚光或散光的工具就是透镜。

透镜的主要功用就是使光折射，从而聚光、散光和成像。放大镜之所以能将物体放大观察，还可以聚光，就是因为凸透镜可以使光折射，将光的前进方向向汇聚方向改变的缘故。反过来凹透镜具有使光发散的作用。根据使用目的的不同，改变透镜的大小及球面的形状，或将多片透镜组合起来，人们就可以主动地决定光的集聚方式、发散方式及像的放大率。透镜可以说是人类巧妙利用光的折射而发明的工具。



要点

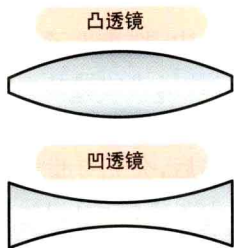
CHECK!

- 中心部位凸出的透镜叫凸透镜，凹进的透镜就叫凹透镜
- 透镜是利用光的折射现象聚光或散光的工具

图1 DVD驱动器的读写部位



图2 凸透镜和凹透镜



凸透镜将文字放大

图3 看上去弯折的吸管

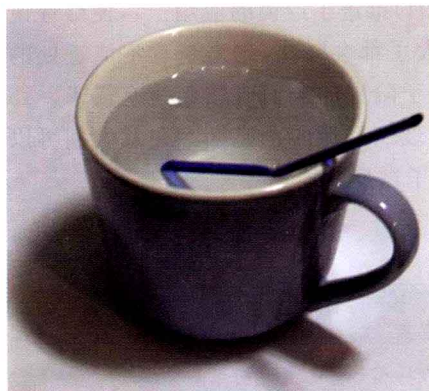


图4 聚光的葡萄酒杯



清晨观察植物时,可以看到树叶上有许多水滴排列着附在叶尖。这样的水滴称为露珠。露珠和雨停后的水滴及大气中的水蒸气遇冷凝结出的霜不同,它是一种植物生理现象,是从叶子的水孔排出多余的水分而形成的水滴。临近细看一下露珠,会看到被放大的叶子表面,或注意到其映照着的倒立的景色。露珠,简直可以说是大自然造出的透镜。我们的祖先生于远古时代也应该发现了露珠,只是他们将这种现象当成是日常之事,自然地接受了吧。然而和光的折射有关的各种现象,无疑是人类创造出透镜这一器具的契机。

从古代的美索不达米亚、埃及、希腊等地的遗迹中,挖掘出了水晶球或玻璃球。但那些不是透镜,而是作为装饰品或宗教仪式的器具而使用的。最初记述水晶球和玻璃球还可以放大观察的是公元前1年前后古代罗马的哲学家塞内加(Lucius Annaeus Seneca)。其后,公元2世纪前后希腊的托勒密(Claudius Ptolemaeus, 83年前后~168年前后)记述了玻璃球的放大作用及光的折射。

11世纪前后,阿拉伯学者阿尔哈曾<sup>[注1]</sup>(Alhazen-Haitham, 965~1039)详细地总结了人眼的构造及光的折射。13世纪前后,英国修士罗杰·培根(Roger Bacon, 1214~1294)推进了透镜的应用<sup>[注2]</sup>,使凸透镜作为放大镜而被广泛使用。人年纪大了都会眼花,越来越看不清近处的东西。在最初的时候,特别是知识分子阶层的人们对放大镜有需求。15世纪前后,在意大利的威尼斯迎来了玻璃制造的全盛期。在意大利可以制造出老花镜和近视眼镜,并扩大到了世界各地。

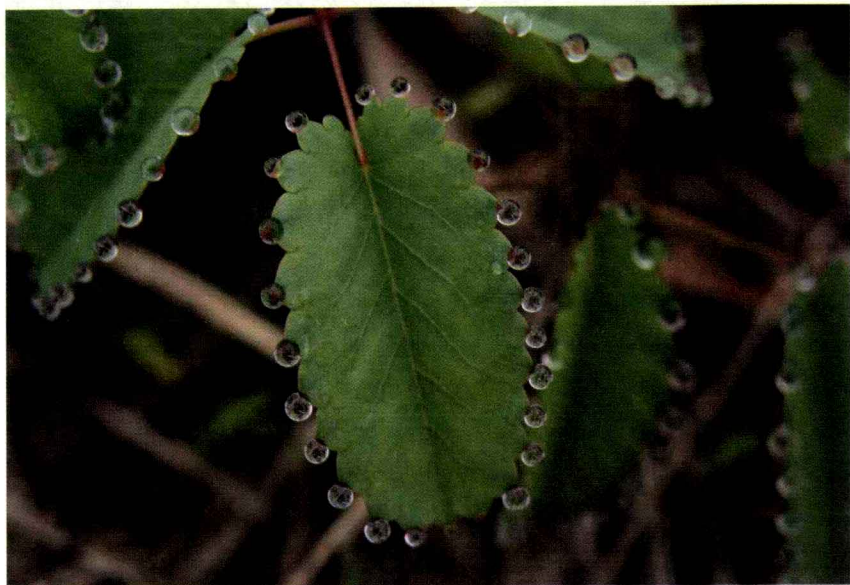


- 凸透镜作为放大镜的使用是透镜被广泛应用的契机
- 早期的放大镜是用水晶和绿柱石制成的高价贵重的物品

注1: 被称为光学之父。

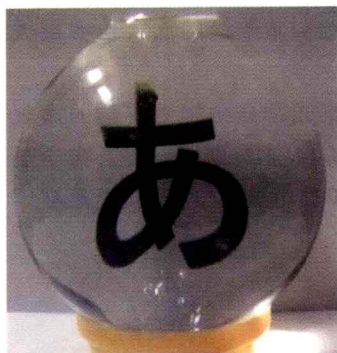
注2: 还考虑了利用两片透镜制作显微镜和望远镜的原理。

图1 植物制成的自然透镜



露珠（照片提供者：岩槻秀明 あおぞら☆めいと <http://wapichan.sakura.ne.jp/>）

图2 正立像



用装水的圆底烧瓶观看近处的文字

图3 倒立像



通过装水的圆底烧瓶观看一段距离以外的钟表



显微镜比望远镜领先一步,由荷兰的杨森父子于1590年前后发明的,但是其发展要比望远镜缓慢。因为当时作为将物体放大观察的工具,有一片凸透镜制成的放大镜或许就足够了<sup>(注1)</sup>。

英国的罗伯特·胡克(Robert Hooke,1635~1703)使用2片透镜制成了放大率为数十倍的**复式显微镜**,对各种动植物进行了观察。他发现软木中有无数小房间,并给这些房间起名叫 **cella**<sup>(注2)</sup>。他在1665年出版的《显微图集》一书中,登载了100多张动植物的绘图。同期,荷兰的安特尼·范·列文虎克(Antoni van Leeuwenhoek,1632~1723),使用一个玻璃球做透镜制成的**单式显微镜**对微生物进行了观察。他于1674年发现了微生物,于1676年发现了细菌。他的显微镜结构虽然很简单,但放大倍率达到了200倍以上。

由于光具有波动的性质,要用显微镜观察和光的波长同样大小物体,光线就会发散,物体看上去要模糊,这是发生了**衍射**的现象。德国的阿贝(Ernst Karl Abbe,1840~1905)和蔡司(Carl Friedrich Zeiss,1816~1888)仔细研究了衍射现象,成功地使光学显微镜的分辨率有了飞跃性的提高。然而只要是利用光来观察,可以确定光学显微镜的放大倍率最大到数千倍就是极限了。

1931年发明了电子显微镜,可以用来观察光学显微镜看不到的微观世界。电子显微镜的放大倍率可达10万倍以上,能看到病毒等。光学显微镜虽然达不到电子显微镜的倍率,但结构和操作很简单,目前仍然被广泛使用,其性能也在不断提高。



- 具有一片透镜的为单式,具有数片透镜的为复式
- 光学显微镜的倍率一般为数十到数百倍,数千倍则为极限

<sup>注1</sup> 显微镜与其说是作为科学工具,不如说是作为高级工艺品而传播开来的。  
<sup>注2</sup> 拉丁语,是细胞的意思,英语为 cell。