

OHM 电子爱好者读物

电子电路入门

微型机器人手工制作

〔日〕福田 务 著



0
2



科学出版社

www.sciencep.com

OHM电子爱好者读物

电子电路入门

微型机器人手工制作

〔日〕福田 务 著
牛健强 张胜男 译
刘本伟 校

科学出版社

北京

图字：01-2003-0409 号

Original Japanese language edition
Hajimete Manabu Denshi Kairo Nyumon Beginner Kyoushitsu
By Tsutomu Fukuda
Copyright 1999 by Tsutomu Fukuda
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese version published by Science Press, Beijing
Under license from Ohmsha, Ltd.
Copyright 2003
All rights reserved

初めて学ぶ
電子回路入門ビギナー教室
福田 務 オーム社 1999

图书在版编目(CIP)数据

电子电路入门/(日)福田 务著;牛连强,张胜男译. —北京:科学出版社,2003
(OHM 电子爱好者读物)

ISBN 7-03-011307-1

I. 电… II. ①福…②牛…③张… III. 电子电路—基本知识 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 019536 号

责任编辑 崔炳哲 责任制作 魏 谨
责任印制 刘士平 封面设计 李 力

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>

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2003 年 7 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2003 年 7 月第一次印刷 印张: 12 3/4

印数: 1—5 000 字数: 211 000

定 价: 21.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

◎ 电子电路初学者教室

第一部分重点介绍高等职业专科学校的电工专业和电子专业学生必须掌握的电子电路基础知识。为了避免读者学习时的枯燥乏味,采用了两名学生和一位博士对话的形式,简明易懂地介绍相关内容,这使读者感到自己仿佛在教室里跟老师亲密接触一样,希望能够进一步提高学习效率。本部分介绍的电子电路技术就是在日常生活中常见的家用电器、计算机等的基础制作技术。

第二部分是由增永清一先生编写的“微型机器人手工制作入门”,也就是第一部分介绍的电子电路基础知识的实践部分。

希望读者通过本书的学习对电子电路知识有系统的认识。

东京都立乌山工业高等学校特约顾问 福田 务

◎ 微型机器人手工制作入门

众所周知,机器人是由机构部分和电子元器件部分组成的。本书中介绍的传感型机器人和竞技型机器人是用丙烯树脂板、铝板及铝制角材制成的。因为所采用的铝制角材,容易用钢锯加工成所需的尺寸,并且用手摇钻容易打孔,所以与采用丙烯树脂板相比,使用工具少。另外,因为所有的组合都用螺钉完成,所以不需要黏接。

希望读者亲自动手实践,以便牢固掌握前面介绍的知识。

微型机器人手工制作增永工作室主任教授 增永清一

固定电阻的色环读法

●小知识●



※有4个色环时,前3个为数码环

颜色	第一色环	第二色环	第三色环	第四色环 (幂数)	第五色环
黑	0	0	0	第1、2、3色环不变	—
棕	1	1	1	$\times 10^1$	1%
红	2	2	2	$\times 10^2$	2%
橙	3	3	3	$\times 10^3$	—
黄	4	4	4	$\times 10^4$	—
绿	5	5	5	$\times 10^5$	—
蓝	6	6	6	$\times 10^6$	—
紫	7	7	7	$\times 10^7$	—
灰	8	8	8	$\times 10^8$	—
白	9	9	9	$\times 10^9$	—
金				$10^{-1}(0.1)$	5%
银				$10^{-2}(0.02)$	10%

电容数值的读法

●小知识●

101
50K

101
50K

0的个数(幂数)此时为100pF

直接读

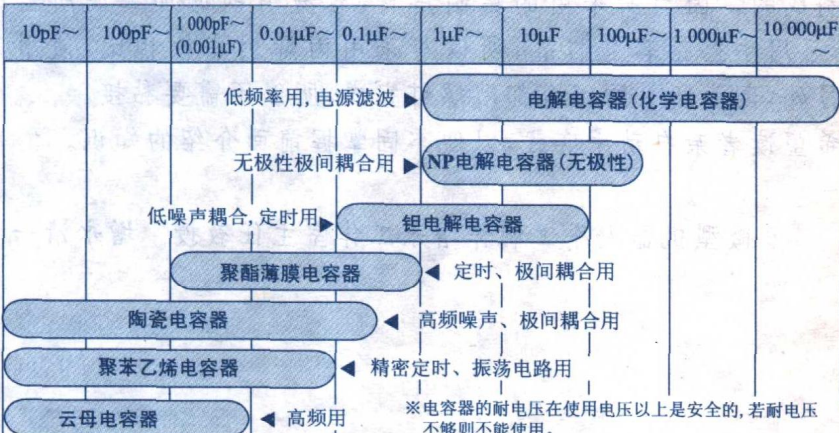
耐压值

50K

误差

$\left. \begin{array}{l} M \pm 20\% \\ K \pm 10\% \\ J \pm 5\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} 104=100\ 000pF=0.1\mu F \\ 103=10\ 000pF=0.01\mu F \\ 102=1\ 000pF=0.001\mu F \end{array}$

主要的电容器的数值范围



著者简历

福田 务

东京都立乌山工业高等学校特约顾问

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载,或用复印机进行复制,或在其他场合引用,以及录入电子设备等行为,均属侵害著作权,构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时,必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编部

电话:010-64012994 传真:010-64019810

读者服务部:010-64017892 010-64000246

邮政编码:100717 地址:北京市东黄城根北街16号

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司

编辑部电话:010-82857401

促销部电话:010-82843276 转 219,220 传真:010-82842304

邮政编码:100029 地址:北京市朝阳区华严北里11号楼3层

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

目 录

第一部分 电子电路初学者教室

第 1 章 电子电路的基础知识 1

1 半导体的性质	2
2 pn 结和二极管	8
3 晶体管的工作原理	14
4 晶体管和放大作用	19
5 放大电路的基本原理	25
6 偏置的思想与具体电路	31
7 增益与交流负载线	37
8 小信号放大电路	43
9 负反馈放大电路	49
10 功率放大电路的思考方法	55
11 高效功率放大电路	61
12 FET 放大电路	67

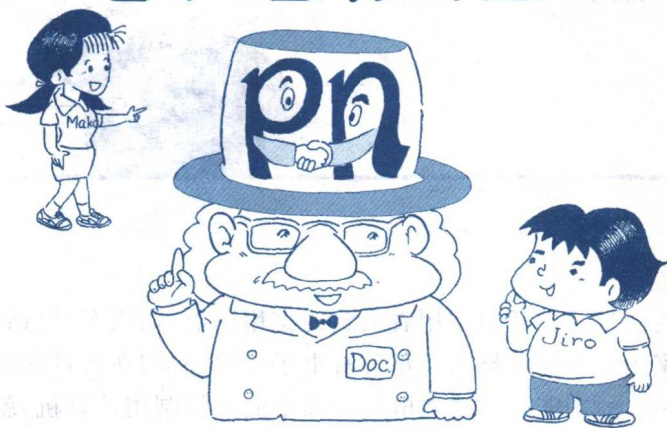
第 2 章 各种电子电路的基础知识 71

1 电源电路的思考方法	72
2 稳压电源电路	78
3 振荡电路的组成	83
4 晶振及其用途	89
5 晶闸管的运用	95
6 多谐振荡器	101
7 自制报警装置	106
8 利用电子电路进行光控	112
9 最基本的数字电路	118
10 IC 讲座(I)	124
11 IC 讲座(II)	130
12 IC 讲座(III)	136

第二部分 微型机器人手工制作入门

第1章	工作入门的心得笔记	141
1	电路的构成	142
2	塑料(丙稀树脂)材料的加工	145
3	印制电路板的制作	157
第2章	机器人手工制作手册	162
1	可以拐直角的线条跟踪器	164
2	可以上下左右跟踪光线的跟踪机器人	168
3	能运载软硬物品的工作机器人	172
4	可用于各种机器人大赛的铲车	176
5	躲避阴影的向阳车	180
6	能写字的习字机器人	184
7	能攀壁行走的自动转向车	188

电子电路的基础知识



本章的学习内容

在本章里，我们采用博士（Doc.）与真子（Mako）和次郎（Jiro）对话的方式，用生动活泼的形式介绍学习电子电路的结构时会遇到的一些问题，其主要内容如下：

- (1) 电子是什么？它有什么功能？
- (2) 在半导体中，传输电荷的载流子是电子和空穴。
- (3) 采用p型和n型半导体结合的方法可以制作出二极管。那么怎样才能使二极管工作呢？
- (4) 晶体管的结构及其工作原理，为理解电子电路中的最基本单元——放大电路打下基础。
- (5) 放大电路根据要放大信号的大小可分为小信号放大电路和大信号（电力信号）放大电路。
- (6) 为改善放大电路的性能，可采用负反馈电路。
- (7) 按场效应原理工作的FET是一种怎样的器件，其工作原理如何？

1

半导体的性质

——不稳定比稳定更有用？



在我们日常生活中使用着大量的家用电器，如汽车、电话和传真机等，在这些家用电器的机器内部都嵌有电子电路，它们在各自的机器中都发挥着人脑一样的功能。通过在电气产品中嵌入控制用计算机，就使得原来要由人完成的判断和调节等工作可以由机器来自动完成。

在本书中，我们将随着出场人物一起来轻松地学习有关电子与半导体的性质、半导体器件的电特性、各种放大电路以及振荡电路等基础知识。

[出场人物]



Doc.



Jiro



Mako

电子是带负电的粒子，怎样才能知道电子带有负电呢？

Jiro 在学校里听说过，电流就是电子的移动。电子带有负电，它从电源的负极向正极移动，总是与电流的方向相反，这究竟是怎么回事啊？

再说，电流方向与电子移动方向相反，这不是很麻烦吗，为什么它们不是相同的方向呢？

Doc. 在使用具体的电子电路之前,还确实有必要先了解一下电子的本质。为此,我们只要借助在真空玻璃管内插入荧光板构成的克鲁克斯(Crookes)管做一下试验就会理解这个问题了。在中学或职高的理工科实验室中都会有克鲁克斯管,希望大家一定去试一下。

如图1所示,实验时要利用大家熟知的感应线圈,从置有叶轮的克鲁克斯管的两端加上直流高压。克鲁克斯管内的叶轮上涂有荧光物质,叶轮能边左右旋转边移动。

图1所示,如果将克鲁克斯管的a端接上电源的正极(+),b端接上电源的负极(-),那么,叶轮就会从负极向正极移动。想想看,这意味着什么呢?对了,这是因为从连接负极b端的电极中喷射出某种东西将叶轮向a端推的缘故(参见图2)。

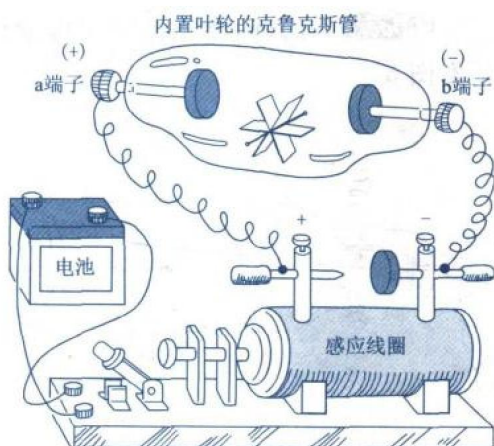


图1 用克鲁克斯管的电子流实验装置

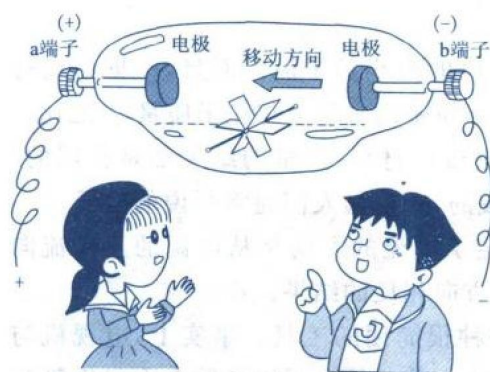


图2



照片1 内置叶轮的克鲁克斯管

Jiro 可以认为从b端向a端喷射出的东西就是电子吗?

Doc. 与其说是电子,不如说成是电子束更恰当些。这样,由它们形成了电子流,也被称为阴极射线。

Jiro 这么说,如果将正负电极反向连接的话,叶轮就会向相反的方向移动喽!

Doc. 是的,肯定是从接负极的一端喷射出电子流,而将叶轮推向正极方向。

Jiro 噢!请您稍等一下!不错,我现在明白了从连接电源负极的克鲁克斯管的一端会发射出阴极射线,但这毕竟还不能说明它就是电子啊!

Doc. 的确,要想说明阴极射线就是电子流,还必须再做些实验才行。请看图 3。

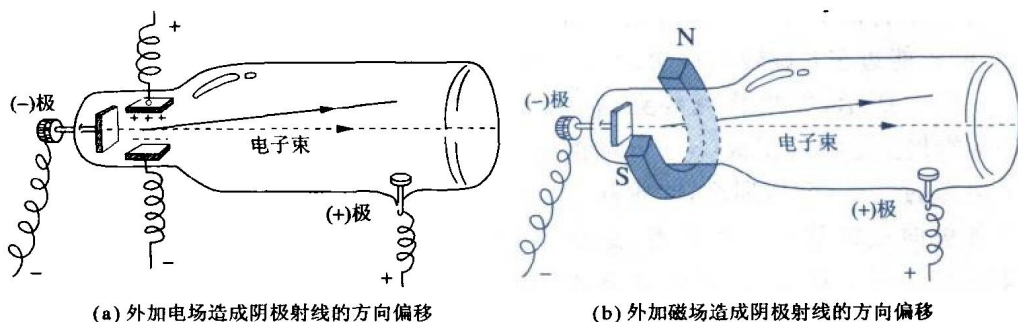


图 3

正如图中所示,若在阴极射线行进的路线上加上电场或磁场,阴极射线的行进方向就会发生偏转。

上述现象说明,阴极射线是一种带负电的微小粒子流。而且,根据射线行进方向的偏移程度,我们还可以测量出粒子所带的电量 e 与粒子质量 m 之比。

不管如何更换管中的气体以及制作电极的材料,测量的结果都是相同的,这说明阴极射线是由同一种带电粒子构成的,这就是人们通常所说的电子。

然而,在了解上述事实之前,已经规定了电流的方向是从电源的正极流向负极的,因此造成了电流方向与电子移动方向相反的结果。

要观察电子的本质,克鲁克斯管是一种很简便的工具。事实上,电视机与示波器显像管(布劳恩管)内的电子流、导线中移动的电子以及散布在二极管和晶体管内部的电子,本质上都是同样的东西。

半导体既是不良导体,也是不良绝缘体。然而它却成了电子电路的主角,确实有些不可思议。

Mako 金属之类的导体,因含有大量可以自由移动的电子,作导体使用

很方便；而橡胶和云母之类的绝缘体，因其电子几乎不能移动，是极佳的绝缘材料。相比之下，半导体虽模棱两可，在电子电路中却偏偏极为重要，这是为什么呢（参见图4）？

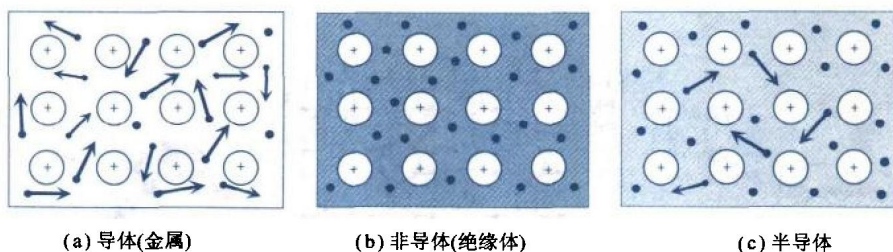


图4 可自由移动的电子(↔)与不能移动的电子(•)

Doc. 导体和绝缘体的状态都是稳定的，要么电流可以很顺畅地通过，要么电流几乎完全不能通过，是“泾渭分明”的。然而，半导体的电阻率会随外界条件的变化而改变，是不稳定的。从电特性的角度来看，能够人为地产生这种不稳定的确是非常有用的。

Mako 哦！这是什么意思啊？

Doc. 我们可以打个比方来说明这些问题。有一条道路，在道路上设置有一些木桩，道路上的行人可以比作电子。如果木桩的位置都固定，那么，人们不用费事就可以很容易地通过。这就相当于导体。可是，如果道路上设有大量的木桩，且摆放得杂乱无章，要想通过就要大费周折。这就相当于绝缘体。

至于半导体，就有点像根据我们意愿设置木桩位置的道路。因此，如果过量增加木桩，道路将难以通过，而减少木桩数量就可以使通行变得容易。木桩数量及摆放位置与导体和绝缘体是不同的，虽然它处于不稳定状态，但只要按人们的意图配置木桩，就可以对通行的难易程度加以控制。

对于导体和绝缘体来说，因为物理特性决定了它们不可能实现这种控制。然而，对于锗(Ge)和硅(Si)这类制造二极管和晶体管的元素来说，却可以按照我们的意愿进行精细加工。这正是半导体大放异彩的原因。

Jiro 那么，具体地说，应该怎么做才能制作出二极管和晶体管呢？

Doc. 好，现在就将制作二极管和晶体管等器件的思路通过简单流程图的形式介绍一下（参见图5）。

在制作二极管和晶体管等半导体器件时，首先要制作称为p型半导体和n型半导体的所谓半导体材料。半导体是一种掺入少量杂质后就会明显改变电特性的敏感材料。因此，当需要从外部有意地掺入杂质制成n型或p型半导体

时,事先必须制作出纯度极高的半导体晶体。这种纯度极高的半导体称为本征半导体。

硅本征半导体的单晶结构如图 5 所示。观察其中各原子的结构时,就会发现它最外层轨道上的电子(称为价电子)因与其他原子共价结合而十分稳定。

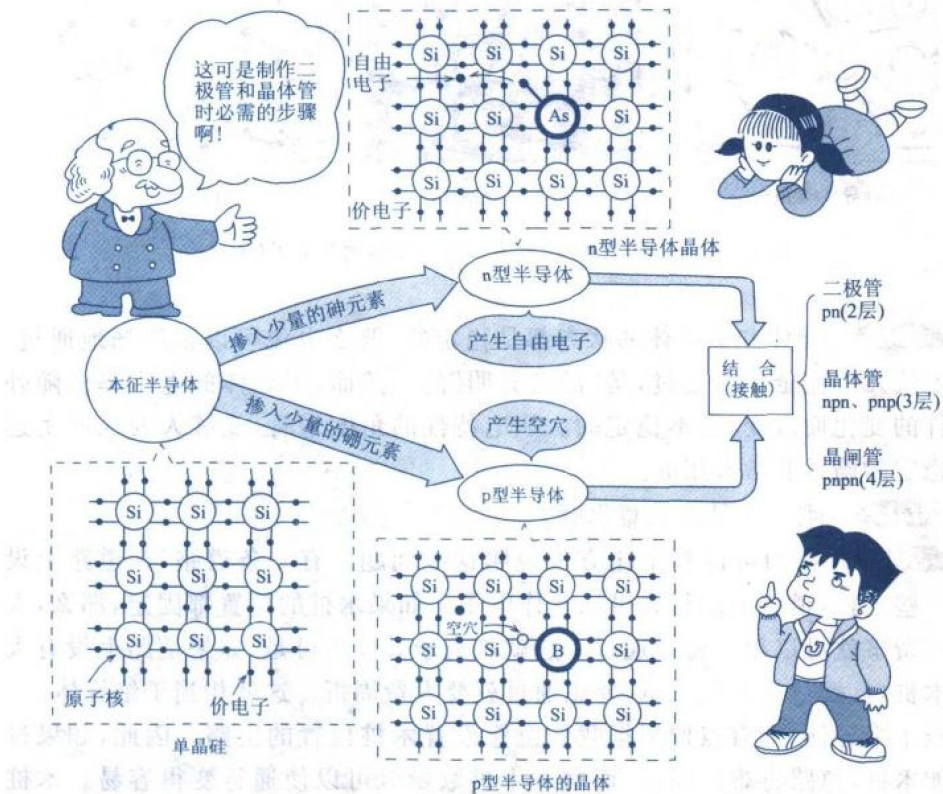


图 5 半导体元件的制作步骤

如果向这种本征半导体中加入少量的砷(As)或硼(B)元素,前者就会制成 n 型半导体,后者则会制成 p 型半导体。由于掺入这些“杂质”后,硅原子的共价结合将被打乱,即使在 n 型半导体中产生多余的自由电子,p 型半导体中因缺少自由电子而产生多余的空穴。

像这样有意地在本征半导体内掺入杂质制作出 n 型半导体和 p 型半导体,再通过将 n 型半导体和 p 型半导体进行结合,就可以制作出二极管和晶体管等电子器件。

自我挑战

问题 对于下列问题,请用“是/不是”做出回答。

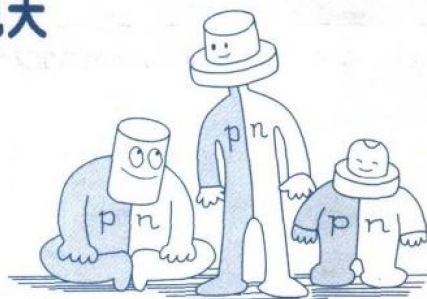
- ① 在半导体中,自由电子和空穴完成电传导工作,它们是电荷的传输者,被称为载流子。
- ② 精制的高纯度半导体称为本征半导体。
- ③ 在本征半导体中,掺入少量砷等5价元素制成的晶体称为p型半导体,掺入少量硼等3价元素制成的晶体称为n型半导体。

答 ①是 ②是 ③不是(n型和p型的定义颠倒了)

2

pn结和二极管

——拨开云雾始见天



今天我们来学习构成半导体器件最基本单元的pn结及二极管的相关知识。

Doc.



Jiro

很难吧!

没问题!



Mako

二极管、晶体管以及 IC 中都采用 pn 结,这究竟是因为什么呢?

Jiro 我们知道,二极管和晶体管等与电阻、线圈以及电容等不同,具有整流和放大作用。在这些半导体器件的结构中都采用了 pn 结,为什么需要 pn 结呢?

Doc. pn 结就是在制作硅晶体时,掺入了 3 价原子(如硼)或 5 价原子(如砷),从而形成如图 1 所示的结构。其中,一部分形成 p 型半导体区域,而其余部分则形成 n 型半导体区域。这种 p 型区域和 n 型区域连接在一起的状态就称为 pn 结。

至于为什么需要采用 pn 结,让我们顺着下面的思路来考虑吧!

Mako 看了图 1 中的 pn 结,有个问题我想确认一下。是不是可以这样

说,在掺入了5价原子的n型半导体中,带有负电荷的自由电子数量应该比带有正电荷的空穴数量多。同样,在p型半导体中,空穴的数量应该比自由电子数量多。如此一来,就使得n型区域整体上就带负电,而p型区域整体上则是带有正电呢?

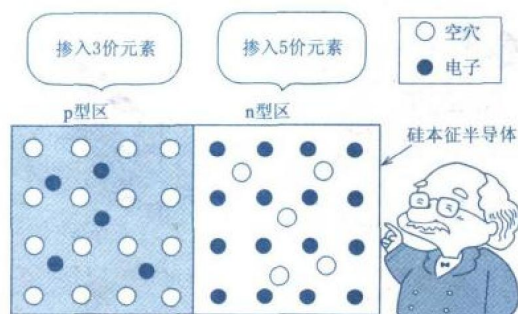


图1 pn结

Doc. 噢,请稍停一下!不能根据自由电子和空穴的相对多少来决定其带电状态。事实上,从电荷角度来说,p型区域和n型区域都是中性的。

在本征半导体中掺入5价或3价元素时,确实会发生自由电子和空穴的多少问题(也因此制成了p型和n型半导体)。不过,如果因为在电中性的硅晶体中掺入了也是中性的5价或3价元素就说掺杂后的晶体带正、负电就完全错了。

进一步讲,在p型区域和n型区域的接触面上,会产生自由电子和空穴的移动,从而在接触面的两端聚集起正、负电荷(产生电场),这一点是应该引起注意的。

Mako 为什么呢?

Doc. 因为从传输电荷的角度讲,自由电子和空穴都携带电荷,因此它们都被称为**载流子(carrier)**。半导体中电流的流动就是由于载流子移动引起的。

想想看,要使载流子移动应该怎么办呢?

Jiro 既然半导体中的自由电子和空穴携带电荷,那么,只要加上电场就可以吧……

Doc. 对了,如果加上电场,则在电场的作用下,空穴或自由电子就会沿电场方向或者相反方向移动了。

这种现象称为**漂移**,所形成的电流也就称为**漂移电流**(参见图2)。

想想看,除此之外,还有什么方法能使载流子移动呢?

Jiro 哦,还有吗?

Doc. 是的,还有一种现象称为**扩散现象**,它正是在pn结接触面上发生的现象。这是指在半导体中,当存在载流子的浓度差时,会发生载流子从浓度高的地方向浓度低的地方移动的现象(参见图3)。