

6天专修!
课程!

电子电路

基本原理66课

電子回路
の基本66课

[日]石井 聡 著
尹芳 王卫兵 贾丽娟 译

要点简明、完整，
问题讲解流畅、深入浅出

覆盖大多数大专院校入学考试和职业资格考试内容，
适合作为复习用书



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

6天
专修课程

电子电路

基本原理 66 课

[日] 石井 聪 著
尹 芳 王卫兵 贾丽娟 译



机械工业出版社

6 日でマスター! 電子回路の基本 66, Ohmsha, 1st edition, by 石井 聡, ISBN: 978-4-274-21393-9.

Original Japanese edition 6 ka de Master! Denshi-kairo no Kihon 66 by Satoru Ishii.

Copyright © 2013 by Satoru Ishii.

Published by Ohmsha Ltd.

This Simplified Chinese Language edition published by China Machine Press, Copyright © 2016, All rights reserved.

This title is published in China by China Machine Press with license from Ohmsha. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由 Ohmsha 授权机械工业出版社在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2015-2223 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电子电路基本原理 66 课/(日) 石井聡著; 尹芳, 王卫兵, 贾丽娟译. —北京: 机械工业出版社, 2016.9

(6 天专修课程)

ISBN 978-7-111-54591-0

I. ①电… II. ①石… ②尹… ③王… ④贾… III. ①电子电路 - 基本知识
IV. ①TN7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 194076 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张沪光 责任编辑: 张沪光

责任校对: 刘秀芝 封面设计: 陈 沛

责任印制: 李 洋

北京汇林印务有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

148mm × 210mm · 8.75 印张 · 276 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-54591-0

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

本书内容主要分为模拟电路、数字电路及应用技术三个部分，基本涵盖了与电子电路相关的全部技术内容及必要的知识点。本书从电路的基本元件开始，介绍了模拟电路的晶体管及场效应晶体管放大电路的基本原理、运算放大器、负反馈、振荡电路原理以及数字电路的数字逻辑、二进制运算、大规模微处理器以及 A-D、D-A 转换电路的基本原理，并对模拟（线性）电路设计的 SPICE 软件仿真以及现代逻辑电路设计的硬件描述语言做了详细介绍。应用技术部分分别给出了模拟传感器信号处理以及数字信号处理、数字无线通信等综合应用技术，以提高相应的综合技术能力。全书以图解为基础，直观易懂、内容全面、讲解深入、理论与实际联系紧密，既有基本原理的介绍，同时也具有良好的实用性和解决实际问题的针对性。

本书可作为在校学生的学习、复习用书，也可作为工作实际中工程技术人员的参考用书，同时也是非电气技术人员以及电子技术爱好者快速了解电子电路原理的科普读本。

译者序

6天专修课程丛书《电工电路基本原理66课》《电子电路基本原理66课》和《电磁场基本原理66课》三本日文图书，其内容涵盖了电工电路、电子技术以及电磁场基本原理的全部技术内容及必要的知识点，深受日本电气技术人员的欢迎。

电作为基础的工业技术在人类现代文明的发展中起着关键的作用，并且在未来仍将是重要的基础技术。

当今的社会实践中，电工电子的相关原理已经成为各个领域所必须了解的重要知识和技术。不仅是电气专业技术人员需要掌握，其他非电气专业的技术人员，甚至一般的非技术人员也应该予以了解。这三本书正是为满足当前的实际需求而翻译的，并且以丛书的形式出版，呈现出完整的电气技术人员的技术基础知识，以满足广大读者学习需要。

作为发达国家的日本，电工电子技术是深受全社会重视的一类重要技术基础。有一种被称为《全国第三种电气主任技术者考试》的全国性职业资格考，简称为电验三种。每年9月考试，共分为基础、电力、机械、法规四个科目，一天考完。除了基础科目以外，电力、机械和法规科目全部是具体的生产实践知识。四个科目只要在连续三年分别通过即可拿到电气主任技术者资格证书。每年日本有数万考生参加考试，通过率不到10%。丛书的三位作者均为资深的电气专业教育工作者，其中的土井淳先生还是日本电验三种资深的培训专家，出版了多部电验三种培训教材。

丛书归纳了读者应该了解和掌握的电气相关技术基础知识。与传统的技术参考书不同，丛书并不只是为了单纯地学习知识，还总结归纳了现代电气工程技术所需的技术要点和知识框架，将复杂的技术内容进行了全面的梳理和精心的安排，并以专题课的形式呈现给读者，以便于读者的学习和实践。

在编排形式上，丛书的风格统一，每本书的内容均分为6天来学习，每天由11个专题课组成，每一课均为一个重要的技术专题，每本书共计66个专题课。在每一课的前半部分均以图解的形式直观地给出相关的基本

原理，以便于读者全面了解相关的技术内容，形象生动，概括性强，方便读者的理解和记忆。在每一课的后半部分均配以进一步的文字讲解和接近实际问题的例题及解答，以利于读者的深入理解和掌握。全书以图解为基础，直观易懂、内容全面、讲解深入、理论与实际联系紧密，既有基本原理的介绍，同时也具有良好的实用性和解决实际问题的针对性。

丛书可作为在校学生的学习、复习用书，也可作为工作实际中技术人员的参考用书，同时也是非电气专业的技术人员以及电气技术爱好者快速了解电工电路、电子电路和电磁场基本原理的科普读本。

《电工电路基本原理 66 课》由王卫兵、徐倩、孙宏翻译，其中第 1 ~ 64 课由王卫兵翻译，第 65 课由徐倩翻译，第 66 课由孙宏翻译。《电子电路基本原理 66 课》由尹芳、王卫兵、贾丽娟翻译，其中第 1 ~ 64 课由尹芳翻译，第 65 课由王卫兵翻译，第 66 课由贾丽娟翻译。《电磁场基本原理 66 课》由王卫兵、徐倩、纪颖翻译，其中第 1 ~ 64 课由王卫兵翻译，第 65 课由徐倩翻译，第 66 课由纪颖翻译。丛书的翻译过程中，得到了王义南先生的指导，韩再博、张慧峰、白小玲、张霁、张惠等也参与了部分翻译及文字编排工作，在此一并表示感谢！

由于翻译的工作量较大，技术内容覆盖面较广，翻译中的错误之处在所难免，敬请广大读者指正。

译者

2016 年 5 月 于哈尔滨

前 言

电子电路原理已经广泛成为各个领域所必须了解的重要知识和技术。不仅是电子设备相关的专业技术人员需要掌握，而且其他专业的技术人员，甚至一般非技术人员也应该予以了解。

本书正是为满足当前电子电路实践的实际需求而编写的，归纳了读者应该了解和掌握的相关技术基础知识。与传统的电子电路参考书不同，本书并不只是为了单纯地知识学习，还总结归纳了现代实际电子电路设计所需的技术要点和知识框架，将复杂的技术内容进行了全面的梳理和精心的安排，并以专题课的形式呈现给读者，以便于读者的学习和实践。

本书可作为在校学生的学习、研究用书，也可作为毕业后工作实际中的参考用书。对于初学者来说，通过本书能够在较短的时间内很快了解电子电路的全貌，理解知识和技术的要点。另外，本书所给出的例题均为接近工程实际问题的实例，通过这些实例的求解和说明，使读者能够在深入理解理论知识的同时，尽快提升解决实际问题的能力，从而进一步把握理论和实践的关系。

本书的内容共分为6天来学习，每天由11个专题课组成，全书共计66个专题课。内容大体分为模拟电路、数字电路及应用技术三个部分，基本涵盖了与电子电路相关的全部技术内容及大量必要的知识。在模拟电路部分，对于电路必需的基本元件运算放大器，本书做了详尽的介绍。在数字电路部分，通过本书所介绍的基本技术内容的学习和掌握，使读者能够培养成具有对于无论多么复杂的大规模电路，也能够从容应对和实现的技术能力。

另外，需要注意的是，对于乘法运算符的应用，本书基本统一的做法是在图中使用符号“ \cdot ”、在正文中使用“ \times ”，而在数字电路中一般是省略的。对于各种物理量的单位符号，只在每课课文中第一次出现的时候予以说明，并且为便于初学者的学习和理解，特意对电路中的终端和物理量采用相同的符号来描述。

在本书的编写过程中，由于个人对本书内容的慎重原因，从开始约

稿，到实际开始执笔，经历了很长的时间。此后的执笔到脱稿完成，又经历了不短的时间，均得到出版社的耐心等待，并对于本书的编辑和出版也给予了大力的协助和支持。在此，向欧姆株式会社（Ohmsha, Ltd.）出版局的各位同仁表示衷心的感谢。

2013年6月

石井 聡

第1天课目

第1课	2
正弦交流电的频率、相位及电路特性的评价	
第2课	6
用正极性和负极性半导体材料制作 pn 结, 它是构成半导体器件的基本单元	
第3课	10
单向导电二极管的种类及电压-电流特性 (使用方法)	
第4课	14
初步了解电压、电流以及功率的放大原理	
第5课	18
晶体管的简介与种类	

第6课	22
充分理解简化等效电路以灵活应用晶体管	
第7课	26
最常用的基本放大电路是“共射放大电路”	
第8课	30
共集放大电路/射极跟随器的电流放大	
第9课	34
具有良好高频特性的共基放大电路	
第10课	38
可作为开关使用的晶体管	
第11课	42
CR 连接方式和晶体管的偏置电路	

第2天课目

第12课	46
共射放大电路的实际偏置电路	
第13课	50
共集放大电路的实际偏置电路	
第14课	54
共基放大电路的实际偏置电路	
第15课	58
另一类型晶体管——结型 FET 的基本原理	
第16课	62
结型 FET 的等效电路及特性	

第17课	66
采用结型 FET 实现的放大电路	
第18课	70
常用于开关功能的 MOSFET 的基本原理	
第19课	74
现代模拟(线性)电路设计与 SPICE 软件仿真	
第20课	78
实现信号“过滤”的滤波电路基础	
第21课	82
保持电路稳定工作的技术——“负反馈”原理	
第22课	86
能自行产生信号的振荡电路	

第3天课目

- 第23课 90
了解运算放大器的基本原理及常用的负反馈方式
- 第24课 94
实际运算放大器（频率特性等）不能达到理想的状态
- 第25课 98
运算放大器基本电路①：同相放大电路
- 第26课 102
运算放大器的基本电路②：反相放大电路
- 第27课 106
运算放大电路的增益与频率特性

- 第28课 110
能放大电流的电压跟随器电路
- 第29课 114
处理光敏二极管等电流传感器的电流电压变换电路
- 第30课 118
积分电路的例外及难点
- 第31课 122
数字逻辑电路
- 第32课 126
实际数字集成电路与数字电路
- 第33课 130
逻辑或（OR）、逻辑与（AND）、逻辑非（NOT）

第4天课目

- 第34课 134
或（OR）门、与（AND）门、非（NOT）门的实例
- 第35课 138
或非（NOR）门、与非（NAND）门、异或（XOR）门的实例
- 第36课 142
以H还是L为基准？——正逻辑/负逻辑及逻辑变换
- 第37课 146
逻辑化简常用的“卡诺图”
- 第38课 150
二进制数、十进制数及十六进制数的相互转换

- 第39课 154
二进制数及其加减乘除运算
- 第40课 158
采用二进制数的各种数值表示方法
- 第41课 162
字（Word）与位（bit）的相互转换及“编码器与解码器”
- 第42课 166
实现多路信号传输的“多路信号选择器与多路信号分配器”
- 第43课 170
判定二进制数大小的“同比较器与大小比较器”
- 第44课 174
实现二进制数运算的“半加器与全加器”

第5天课目

第45课	178
触发器的原理及 RS、T、JK 触发器	
第46课	182
实际应用最多的 D 触发器	
第47课	186
数字电路设计的基本方式“同步电路”	
第48课	190
同步电路实现的存储电路“寄存器”	
第49课	194
现代逻辑电路设计“硬件描述语言”的基础	

● 第50课	198
硬件描述语言在同步电路设计中的实际应用	
第51课	202
高级同步电路中脉冲(选通)电路的应用	
第52课	206
二进制字(Word)数据按位移位的“移位寄存器”	
第53课	210
计数用的“计数器电路”	
第54课	214
决定同步电路动作顺序的“顺序脉冲分配器”	
第55课	218
微处理器与大规模逻辑电路	

第6天课目

第56课	222
数字信号处理的基本原理	
第57课	226
A-D 转换的原理	
第58课	230
能得到高精度 A-D 转换的“双积分型 A-D 转换器”	
第59课	234
应用非常广泛的“逐次逼近型 A-D 转换器”	
第60课	238
能得到超高精度 A-D 转换的“ Δ - Σ 型 A-D 转换器”	
第61课	242
D-A 转换原理	

● 第62课	246
直接数字频率合成器的信号发生	
第63课	250
锁相环(PLL)的信号发生	
第64课	254
数字无线通信的幅移键控(ASK)调制工作原理	
第65课	258
数字无线通信的频移键控(FSK)调制工作原理	
第66课	262
数字无线通信的相移键控(PSK)调制工作原理	
参考文献	266

第1天课目

第1 ~ 11课

第2天课目

第12 ~ 22课

第3天课目

第23 ~ 33课

第4天课目

第34 ~ 44课

第5天课目

第45 ~ 55课

第6天课目

第56 ~ 66课

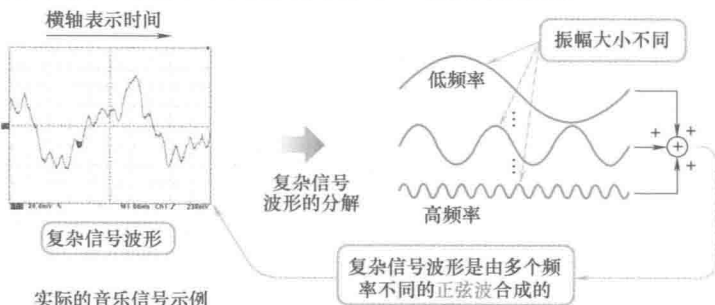
6天专修课程!

电子电路基本原理 66课

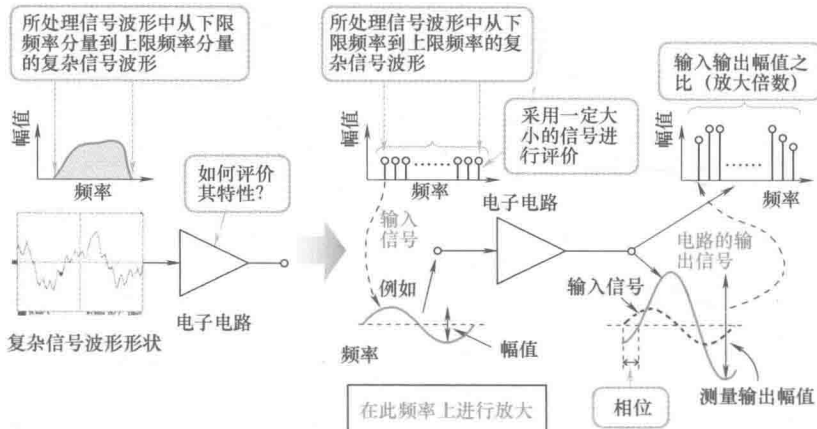
第 1 课

正弦交流电的频率、相位及电路特性的评价

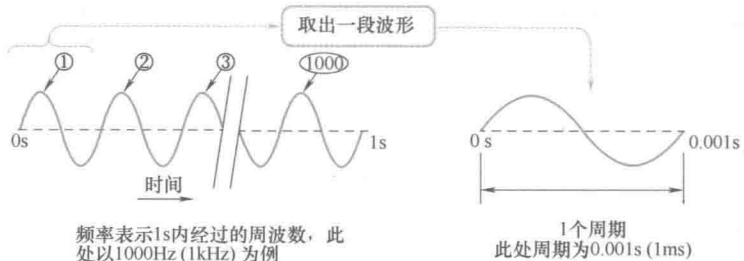
- 复杂信号波形基本上是由各个正弦波合成的



- 复杂信号波形与单一正弦波信号处理电路的对比分析



- 频率和周期是倒数的关系



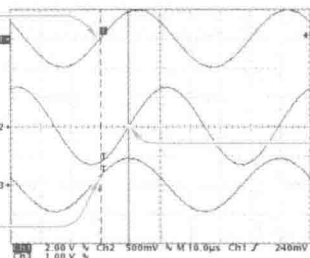
$$1000\text{Hz (1kHz)} = \frac{1}{0.001\text{s (1ms)}}$$

(频率) (周期)

倒数关系

● 相位表示波形发生的时间差异

以此波形
为基准



超前 $3\mu\text{s}$; 超前
 $360^\circ \times \frac{3\mu\text{s}}{50\mu\text{s}} = 22^\circ$

此波形的一个周期为 $50\mu\text{s}$, 也可以用
 $360^\circ (2\pi \text{ rad})$ 表示

滞后 $9.6\mu\text{s}$; 滞后

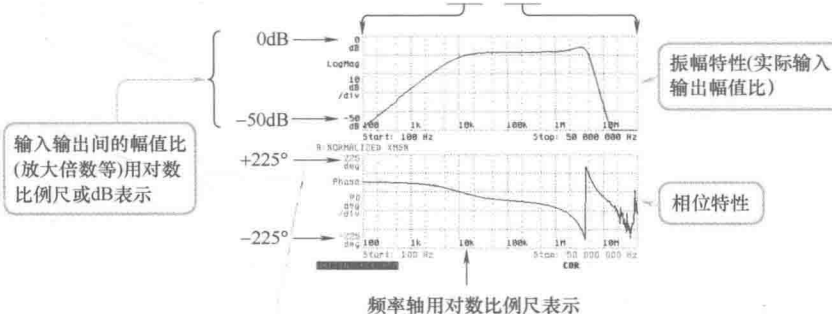
$$360^\circ \times \frac{9.6\mu\text{s}}{50\mu\text{s}} = 69^\circ$$

相位测量的步骤:

- ① 测量最初周期
- ② 测量时间的偏差
- ③ 从上述的测量结果计算相位

● 电路特性的评价: 用每个周波的幅值比和相位特性来衡量

频率的下限和上限



复杂信号波形基本上是由各个正弦波合成的

在观察复杂音乐信号波形时, 我们能够发现它不是正弦波而是很复杂波形形状。然而即使再怎么复杂信号波形, 都是由多种频率的正弦波合成的。

处理复杂信号波形的电子电路是由正弦波来评价

为此, 即使在将复杂信号波形进行放大(处理)的电子电路中采用正弦波对其评价。从所处理的信号波形的下限频率到上限频率, 正弦波的频率发生变化, 用电子电路的输入输出间的振幅比(相当于放大倍数等)和相位特性来评价。

频率和周期互为倒数的关系

频率 f (Hz) 表示正弦波在 1s 的时间内波形重复的次数, 1kHz 频率即表示在 1s 的时间内, 波形重复了 1000 次。周期 T (s) 和其频率 f (Hz) 为倒数的关系:

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-1)$$

当信号的频率为 1kHz 时, 其周期为 1ms, 当信号的频率为 20MHz 时, 其周期为 50ns。

用相位表示波形在时间上的差异

两个正弦波, 例如放大电路的输入输出间, 和电压与电流的时间上差异不是用实际的时间差或偏差率 (几秒、几成或多少百分比等) 来表示, 而是使用相位来表示。

正弦波的 1 个周期为 360° 或 2π 弧度 (rad)。对于同频率的两个正弦波, 如果其中的一个波形出现于另一波形的周期内的某一角度上, 那么该波形相对于另一个波形就有相位差, 并采用超前或滞后的度数或者弧度 (rad) 数表示。

在进行理论计算时, 通常用弧度 (rad) (弧度法) 表示, 在实际工程设计中, 一般采用度 ($^\circ$) (度数法) 来表示。

如果频率变化, 即使相同相位, 时间差也是不同的

若正弦波的频率 f (周期 T) 发生变化, 即使二个正弦波间的相位差 Φ 相同, 实际时间差却不同。虽然 1kHz 时 90° 的相位差为 $250\mu\text{s}$, 但 10kHz 为 $25\mu\text{s}$ 。

电路特性的评价是通过各频率下的幅值比和相位特性来进行的

在对电子电路的频率特性进行评价时, 我们可以通过在电路的频率范围 (从所需的频率的下限到频率上限) 内进行扫描, 并测量各频率下的输入输出之间的幅值比 (放大倍数等) 和相位来进行。

电子电路特性评价采用对数值表示

电子电路的评价时，使用对数（log）比例尺表示正弦波频率和幅值比。

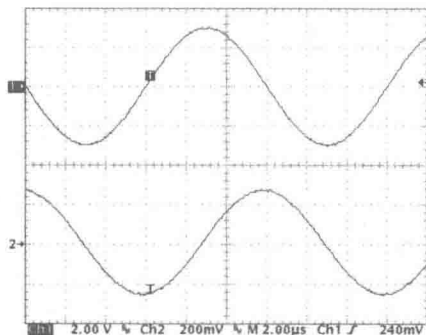
对数比例尺与其他普通比例尺的原理一样，即当某一个数 a 在比例尺上对应于一个数 b ($a \neq b$)，那么在比例尺上对应于两倍的 a ，即 $2a$ 的数即是 $2b$ 。对应于 10 倍的关系的表示也与此相同。

dB（分贝）是在工程实际中使用对数比例尺的一个良好的实例，它的表示见式（1-2）。它是将信号的比值取以 10 为底的对数，再乘以倍数 20 所得到的。通常在表示电流 I (A)、电压 V (V) 的大小时，乘以倍数 20，而在表示功率的大小时，乘以倍数 10。

$$[\text{dB}] = 20 \times \log_{10} \frac{V_2}{V_1}, [\text{dB}] = 20 \times \log_{10} \frac{I_2}{I_1} \quad (1-2)$$

例题 1

试求示波器画面的上下信号波形的周期、频率、幅值以及相位差。



【例题 1 解】

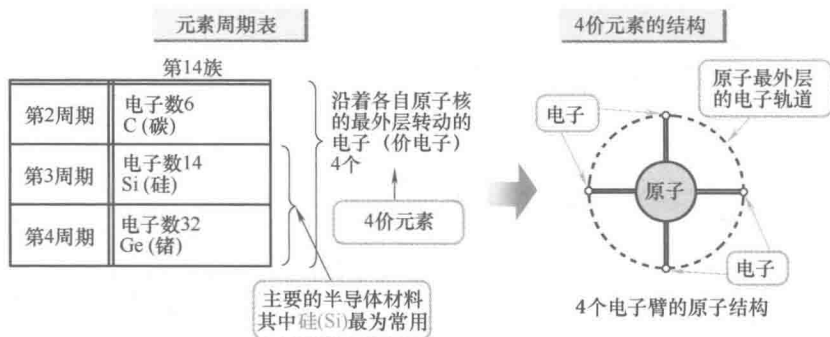
周期：示波器画面上的横轴分度为 $2\mu\text{s}/\text{div}$ （division，格），一个波形周期的宽度为 6 格，周期为 $2\mu\text{s} \times 6 = 12\mu\text{s}$ 。

频率：周期的倒数， $1/12\mu\text{s} \approx 83.3\text{kHz}$ 。

幅值：上面波形（CH1）纵轴分度为 $2\text{V}/\text{div}$ ，其幅值为 3V；下方波形（CH2）纵轴分度为 $200\text{mV}/\text{div}$ ，其幅值为 280mV。

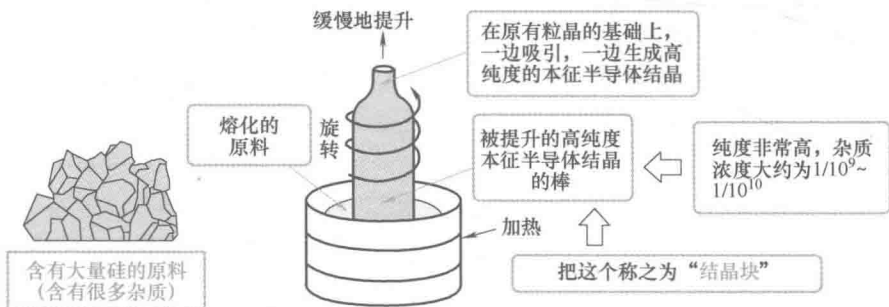
相位差：波形的周期为 $12\mu\text{s}$ ，下面波形滞后 1.4 格，所以时间偏差为 $2\mu\text{s} \times 1.4 = 2.8\mu\text{s}$ 。相位差为 $360^\circ \times 2.8\mu\text{s}/12\mu\text{s} = 84^\circ$ ，为滞后相位。

● 半导体器件的材料大多采用硅



● 用高纯度硅结晶制作本征半导体

一边将熔化的原料旋转，一边提升以制作高纯度的本征半导体结晶



本征半导体的结晶中没有多余且杂乱的原子，它们都紧密地结合在一起

