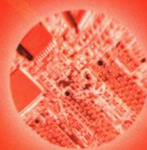
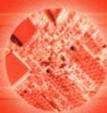
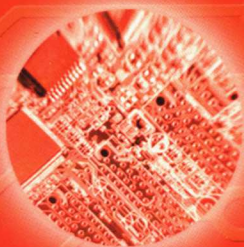




凌阳16位单片机应用基础

罗亚非 等编著



北京航空航天大学出版社

凌阳 16 位单片机 应用基础

罗亚非 等编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

凌阳 16 位单片机(μ^nSP^TM)是台湾凌阳科技有限公司 2001 年推出的新一代单片机,具有高速、低功耗、可靠、实用、体积小、价格低和简单易学等特点。本书以其代表型号 SPCE061A 为主线,讲述该系列单片机的内部结构、指令系统及开发工具,并详细地介绍了凌阳公司所拥有的世界先进水平的音频技术,还提供大量应用程序举例和设计方法。

本书内容全面而实用,通俗流畅,易学易懂,例题丰富,可读性强。可作为从事单片机开发与应用的工程技术人员及广大单片机爱好者的自学用书,也可作为大学相关专业研究生、本科、专科和中专的专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

凌阳 16 位单片机应用基础/罗亚非等编著. —北京:
北京航空航天大学出版社, 2005. 5

ISBN 7-81077-661-4

I. 凌… II. 罗… III. 单片微型计算机, 凌阳 16
—基本知识 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 017459 号

凌阳 16 位单片机应用基础

罗亚非 等编著

责任编辑 金友泉

责任校对 戚 爽

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本: 787×960 1/16 印张: 27.25 字数: 610 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷 印数: 5 000 册

ISBN 7-81077-661-4

定价: 32.00 元

前 言

台湾凌阳科技有限公司近年来推出了凌阳 16 位单片机 $\mu'nSP^TM$ 。该单片机采用现代电子技术——片上系统 SOC(system on a chip) 技术设计而成。该片内部集成有 ADC、DAC、PLL、AGC、DTMF 和 LCD DRIVER 等电路(与 IC 型号有关)。该单片机采用精简指令集(RISC),指令周期均以 CPU 时钟数为单位。另外,凌阳 16 位单片机兼有 DSP 芯片功能,内置有 16 位硬件乘法器和加法器,并配有 DSP 拥有的特殊指令,大大加快了各种演算法的运行速度。

凌阳单片机具有高速度、低价、可靠、实用、体积小、功耗低和简单易学等特点,这些特点体现了微控制器工业发展的新趋势。目前其应用越来越广泛,深受广大用户的欢迎。

凌阳公司在自行研发设计凌阳 16 位单片机的同时,也配有自行研发设计的凌阳 16 位单片机应用开发环境工具。此工具可以在 Windows 环境下操作,工具支持标准 C 语言和凌阳单片机汇编语言,集编辑、编程、仿真等功能于一体,应用方便,简单易学。同时,凌阳公司提供大量的编程函数库,大大加快了开发者对软件开发的进程。

本书结合凌阳大学计划部门人员的开发应用实践,分别介绍了凌阳 16 位单片机的硬件结构、指令系统、程序设计、集成开发环境、凌阳音频及其开发应用实例。

本书共分 8 章:

第 1 章为凌阳 16 位单片机概述,介绍凌阳 16 位单片机的性能特点、开发工具和应用领域。

第 2 章为凌阳 16 位单片机(SPCE061A 为代表)硬件结构详细描述,介绍 SPCE061A 的结构特点和输入/输出端口、系统时钟、定时器/计数器、睡眠/唤醒、模/数转换、数/模转换、串行设备输入输出、通用异步串行接口、低电压监测和复位、看门狗各部分的功能和使用方法。

第 3 章为凌阳 16 位单片机指令系统,介绍凌阳 16 位单片机的指令集、伪指令和特殊指令等。

第 4 章为程序设计,介绍如何进行程序设计,并详细描述了编程方法、步骤;还有 C 语言与汇编语言混合使用的方法,为此配有大量范例。

第 5 章为凌阳 16 位单片机(SPCE061A 为代表)的中断系统,介绍了 SPCE061A 丰富的中断源和中断使用方法,配有单中断源应用和多中断源的应用范例。

第 6 章为凌阳 16 位单片机集成开发环境,介绍开发环境的使用方法,以及利用该开发环境如何进行代码编写、在线编程、软硬件仿真等,并配有丰富的图片说明。

第 7 章为凌阳音频概述,介绍了凌阳独具特色、自成体系的凌阳音频;还详细描述了利用

凌阳音频不同格式进行语音播放的方法和语音录制、识别等功能的实现。

第8章为凌阳16位单片机的应用及开发技术,根据凌阳工程师实战经验,对报时系统、波形发生、红外遥控、语音识别及数字滤波等方案的软硬件设计作了详细介绍。

全书由北京北阳电子有限公司产品开发处罗亚非处长统稿,凌阳大学计划人员(张向艳、李华丽、刘新颜、韦广远、杜伟、袁军、刘宏韬和张璿玮)编著,北阳公司产品三部人员(陆伟、陈孝彬、叶新华、罗志宏、王海峰和弓亚明)协助完成,书中部分插图由陆文峰和汪鹏绘制。在编写过程中,台湾凌阳科技大学计划技术负责人林达人先生,一直给以技术指导,IP开发处处长李恒瑞博士一直给以关心和帮助,在此致以诚挚的谢意。

有关凌阳16位单片机最新资料和应用信息,请访问凌阳大学计划网站 www.unsp.com.cn,如果用户在阅览本书过程中,有疑惑之处,请您到凌阳大学计划网站技术论坛(www.unsp.com.cn/bbs)提出,凌阳工程师将全天候通过技术论坛与广大用户交流。

由于作者水平有限,书中不当和错误之处,敬请批评指正。

编 者

2004年10月26日于北京北阳电子有限公司

凌阳大学计划部

目 录

第 1 章 SPCE061A 单片机简介	1
1.1 凌阳 16 位单片机	1
1.2 SPCE061A 简介	2
1.2.1 概 述	2
1.2.2 特 色	2
1.2.3 结构概览	3
1.2.4 芯片的引脚排列和说明	3
1.2.5 特 性	7
1.2.6 SPCE061A 的最小系统	8
1.2.7 SPCE061A 的开发方式	9
1.2.8 应用领域	9
第 2 章 SPCE061A 单片机硬件结构	11
2.1 $\mu'nSP^{TM}$ 的内核结构	11
2.1.1 算术逻辑运算单元 ALU	11
2.1.2 寄存器组	12
2.1.3 数据总线和地址总线	15
2.2 SPCE061A 片内存储器结构	15
2.2.1 RAM	15
2.2.2 堆 栈	16
2.2.3 闪存 Flash	16
2.3 SPCE061A 的输入/输出接口	20
2.3.1 I/O 端口结构	21
2.3.2 并行 I/O 口的组合控制	23
2.3.3 B 口的特殊功能	30
2.4 时钟电路	33
2.5 锁相环 PLL 振荡器	33
2.6 系统时钟	33
2.7 时间基准信号	35
2.8 定时器/计数器	37
2.9 睡眠与唤醒	45

2.9.1 睡眠	45
2.9.2 唤醒	45
2.10 模/数转换器 ADC	46
2.10.1 ADC 的控制	46
2.10.2 ADC 的直流电气特性	53
2.10.3 MIC_IN 通道方式 ADC	54
2.10.4 LINE_IN 模式的 ADC 操作	55
2.11 DAC 方式音频输出	57
2.12 低电压监测/低电压复位(LVD/LVR)	60
2.12.1 低电压监测	60
2.12.2 低电压复位	61
2.13 串行设备输入输出端口(SIO)	62
2.14 通用异步串行接口 UART	65
2.15 保密设定	70
2.16 看门狗计数器(WatchDog)	70
第 3 章 指令系统	72
3.1 指令系统的概述及符号约定	72
3.2 数据传送指令	74
3.3 SPCE061A 的算术运算	78
3.3.1 加法运算	78
3.3.2 减法运算	80
3.3.3 带进位的加减运算	82
3.3.4 取补运算	83
3.3.5 SPCE061A 的乘法指令	83
3.3.6 SPCE061A 的 n 项内积运算指令	83
3.3.7 比较运算	85
3.4 SPCE061A 的逻辑运算	86
3.4.1 逻辑与	86
3.4.2 逻辑或	88
3.4.3 逻辑异或	89
3.4.4 测试	91
3.4.5 移位	94
3.5 SPCE061A 的控制转移类指令	96
3.5.1 无符号数的跳转指令	98

3.5.2 有符号数的跳转指令	99
3.5.3 其他跳转指令	100
3.6 伪指令	101
3.6.1 伪指令的语法格式及特点	101
3.6.2 伪指令符号约定	101
3.6.3 标准伪指令	102
3.6.4 宏定义与调用	114
3.6.5 段的定义与调用	118
3.6.6 结构的定义与调用	119
3.6.7 过程的定义与调用	123
3.6.8 伪指令的应用举例	124
第4章 程序设计	137
4.1 $\mu'nSP^{TM}$ IDE 的项目组织结构	137
4.2 汇编语言程序设计	139
4.2.1 一个简单的汇编代码	139
4.2.2 汇编的语法格式	141
4.2.3 汇编语言的程序结构	144
4.2.4 嵌套与递归	159
4.3 C 语言程序设计	162
4.3.1 $\mu'nSP^{TM}$ 支持的 C 语言算术逻辑操作符	163
4.3.2 C 语言支持的数据类型	163
4.3.3 程序调用协议	164
4.3.4 C 语言的嵌入式汇编	176
4.3.5 利用嵌入式汇编实现对端口寄存器的操作	178
4.4 应用程序设计	181
4.4.1 查表程序	181
4.4.2 数制转换程序	186
第5章 中断系统	192
5.1 概 述	192
5.2 SPCE061A 的中断系统	193
5.2.1 中断源	194
5.2.2 中断控制	197
5.2.3 中断响应	202

5.3 中断系统的应用	205
5.3.1 单中断源的应用	205
5.3.2 多中断源应用	221
第 6 章 集成开发环境 IDE	232
6.1 概 述	232
6.2 菜 单	233
6.2.1 文 件	233
6.2.2 编 辑	235
6.2.3 视 图	236
6.2.4 项 目	237
6.2.5 编 译	238
6.2.6 工 具	239
6.2.7 帮 助	240
6.2.8 调 试	240
6.3 工具栏	241
6.4 窗 口	244
6.4.1 Workspace 窗口	245
6.4.2 编辑窗口	246
6.4.3 文本编辑器	246
6.4.4 二进制编辑器	247
6.4.5 输出窗口	248
6.4.6 编译输出窗口	248
6.4.7 调试输出窗口	249
6.4.8 查找输出窗口	249
6.4.9 调试窗口	249
6.4.10 其他窗口	256
6.5 项 目	258
6.5.1 建立项目	258
6.5.2 在项目中新建 C 文件	259
6.5.3 在项目中新建汇编文件	260
6.5.4 在项目中新建头文件	261
6.5.5 在项目中新建文本文件	261
6.5.6 在项目中添加/删除文件	262
6.5.7 在项目中使用资源	263

6.5.8 项目选项的设置	264
6.5.9 项目的编译	269
6.6 代码剖视器(profiler)使用及功能	269
6.6.1 激活 Profile 方法	270
6.6.2 使用 Profile 步骤	271
6.7 举 例	273
第 7 章 凌阳音频压缩算法	285
7.1 音频概述	285
7.1.1 音频的特点及分类	285
7.1.2 数字音频的采样和量化	285
7.1.3 音频格式的介绍	285
7.1.4 语音压缩编码基础	287
7.1.5 语音合成、辨识技术	288
7.2 凌阳音频简介	290
7.2.1 凌阳音频压缩算法的编码标准	290
7.2.2 压缩分类	290
7.2.3 凌阳常用的音频形式和压缩算法	290
7.2.4 凌阳语音的播放、录制、合成和辨识	291
7.3 常用的应用程序接口 API 的功能介绍及应用	292
7.3.1 概 述	292
7.3.2 SACM_A2000	293
7.3.3 SACM_S480	299
7.3.4 SACM_S240	304
7.3.5 SACM_MS01	308
7.3.6 SACM_DVR	314
7.4 语音压缩方法	322
7.4.1 DOS 下的压缩	323
7.4.2 WINDOWS 下的压缩	324
7.5 键控放音程序介绍	324
7.6 语音辨识	331
7.6.1 初始化	331
7.6.2 训练部分	331
7.6.3 辨识部分	332
7.6.4 中断部分	333

7.7 小 结	341
第 8 章 $\mu'nSP^{TM}$ 单片机应用及开发技术	345
8.1 $\mu'nSP^{TM}$ 的应用领域	345
8.1.1 用于数字信号处理	345
8.1.2 用于开发研制便携移动式终端	346
8.1.3 用于开发嵌入式计算机应用系统	347
8.2 SPCE061A 单片机应用举例	348
8.2.1 单片机报时及作息时间控制	348
8.2.2 热敏电阻温度计	352
8.2.3 三角波、正弦波和方波波形发生器	355
8.2.4 红外遥控	359
8.2.5 SPCE061A 做语音录放	363
8.2.6 语音识别	367
8.3 数字滤波程序	371
8.3.1 $\mu'nSP^{TM}$ 实现 FIR 滤波——乘—累加功能	371
8.3.2 用 $\mu'nSP^{TM}$ 实现低通 FIR 滤波器	372
8.3.3 $\mu'nSP$ 实现 FIR 滤波需要注意的问题	376
8.3.4 滤波系数出现负数时的滤波运算	377
8.4 卷积编码以及数字比特译码	378
8.4.1 卷积码编码和维特比译码	378
8.4.2 用 $\mu'nSP^{TM}$ 实现卷积编译码	382
8.5 CRC 校验程序	386
8.5.1 CRC 简介	386
8.5.2 CRC 原理	387
附录 1 C - Lib 中的函数集	390
附录 2 $\mu'nSP^{TM}$ 的指令集一览	403
附录 3 $\mu'nSP^{TM}$ 汇编器伪指令集	411
附录 4 $\mu'nSP^{TM}$ 编译相关错误信息	413
附录 5 端口速查表	422
附录 6 符号约定	424

第 1 章 SPCE061A 单片机简介

1.1 凌阳 16 位单片机

随着单片机功能集成化的发展,其应用领域也逐渐地由传统的控制扩展为控制处理、数据处理以及数字信号处理(DSP,digital signal processing)等领域。凌阳的 16 位单片机就是为适应这种发展而设计的。它的 CPU 内核采用凌阳最新推出的 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ (microcontroller and signal processor) 16 位微处理器(以下简称 $\mu'nSP^{\text{TM}}$)。内嵌 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 核心的一系列 16 位单片机(以下简称 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族)采用的是模块化架构,它以 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 为中心,集成不同规格的 ROM、RAM 和各种功能丰富的外设与接口,如图 1.1 所示。

$\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族具有共享的微处理器核心,并可视需求而增减功能模块。结合 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 核心与不同的功能模块,便形成各种不同系列的产品,以配合多样化的应用场合。这样做可以使 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族的系列产品,具有更强的功能和更低的成本。

$\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族有以下特点:

(1) 体积小、集成度高、可靠性好且易于扩展:
 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族把各功能部件模块化地集成在一个芯片里,内部采用总线结构,因而减少了各功能部件之间的连线,提高了其可靠性和抗干扰能力。另外,模块化的结构易于系统扩展,以适应不同用户的需求。

(2) 具有较强的中断处理能力: $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族的中断系统支持 10 个中断向量及 10 余个中断源,适合实时应用领域。

(3) 高性能价格比: $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族片内带有高寻址能力的 ROM、静态 RAM 和多功能的 I/O 口。另外, $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 还提供了能加速数字信号处理(digital signal processing)的指令:高速的 16 位 $\times$ 16 位乘法运算指令,以及内积(乘加)运算指令,使得 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家庭应用在复杂的数字信号处理时,更加便利,又比专用的 DSP 芯片廉价。

(4) 功能强、效率高的指令集: $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 指令集的格式紧凑,执行迅速,并且其指令集提供了对高级语言的支持,这可以大大缩短产品的开发时间。

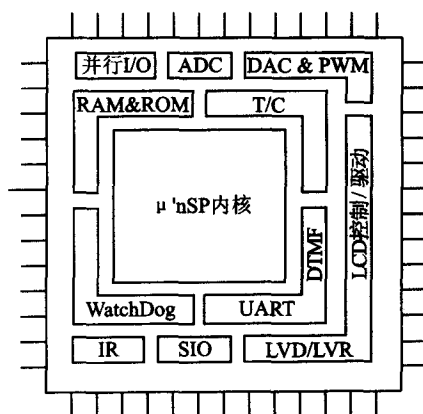


图 1.1 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族的模块式结构

(5) 低功耗、低电压： $\mu'nSP^{TM}$ 家族采用 CMOS 制造工艺，并提供了可由软件控制的 3 种省电模式，即弱振模式(weak)、暂停模式(halt)和备用模式(standby)，大大地降低了其耗电量。另外， $\mu'nSP^{TM}$ 家族的工作电压范围大，能在低电压供电时正常工作，且能用电池供电。这对于其在便携式领域中的应用具有特殊的意义。

1.2 SPCE061A 简介

1.2.1 概 述

SPCE061A 是 $\mu'nSP^{TM}$ 家庭继 SPCE500A 之后，凌阳公司推出的另一款 16 位单片机。与 SPCE500A 不同的是，考虑到用户较少的内存需求以及便于程序除错，SPCE061A 只内嵌入 32 K 字的闪存(FLASH)。与 SPCE500A 相比，SPCE061A 内的 $\mu'nSP^{TM}$ 核心具有较高的处理速度，能够更容易、更快速的处理复杂的数字信号。因此，以 $\mu'nSP^{TM}$ 为核心的 SPCE061A 微控制器，是数字语音辨识产品的最经济选择。

1.2.2 特 色

SPCE061A 的主要性能特点是：

- (1) 16 位 $\mu'nSP^{TM}$ 微处理器核心；
- (2) CPU 工作电压 V_{DD} 为 3.0~3.6 V，I/O 接口电压 V_{DDH} 为 3.0~5.5 V；
- (3) CPU 工作时钟频率为 0.32~49.152 MHz；
- (4) 内置 2 K 字静态内存(SRAM)；
- (5) 内置 32 K 字闪存(FLASH)；
- (6) 可编程音频处理；
- (7) 晶体振荡器；
- (8) 省电模式：在备用(standby)模式下，时钟停止，耗电仅为 2 μ A/3.6 V；
- (9) 2 个 16 位可编程定时器/计数器；
- (10) 2 个 10 位 DAC(数字模拟转换)输出通道；
- (11) 32 个通用 I/O 口；
- (12) 14 个中断源，包含 2 个定时器及时基(timebase)，2 个外部时钟源，按键唤醒；
- (13) 具备按键唤醒的功能；
- (14) 使用凌阳 SACM_S240 音频编码方式(2.4 Kb/s)，能容纳 210 s 的语音资料；
- (15) 锁相环回路(PLL)提供系统时钟；
- (16) 32 768 Hz 实时时钟(RTC)；
- (17) 7 个 10 位 ADC(模拟数字转换器)line-in 输入通道；

- (18) 1个10位ADC(模拟数字转换器)mic-in输入通道,内置麦克风放大器和自动增益(AGC)功能;
- (19) 具备串行设备接口(SIO);
- (20) 具有低电压复位(low voltage reset)和低电压监测(low voltage detection)功能;
- (21) 内置ICE(在线实时仿真/除错器)接口;
- (22) 具有保密能力,可保护资料不被外部读写;
- (23) 具有watchdog功能(依芯片型号而定)。

1.2.3 结构概览

SPCE061A 的结构如图 1.2 所示。

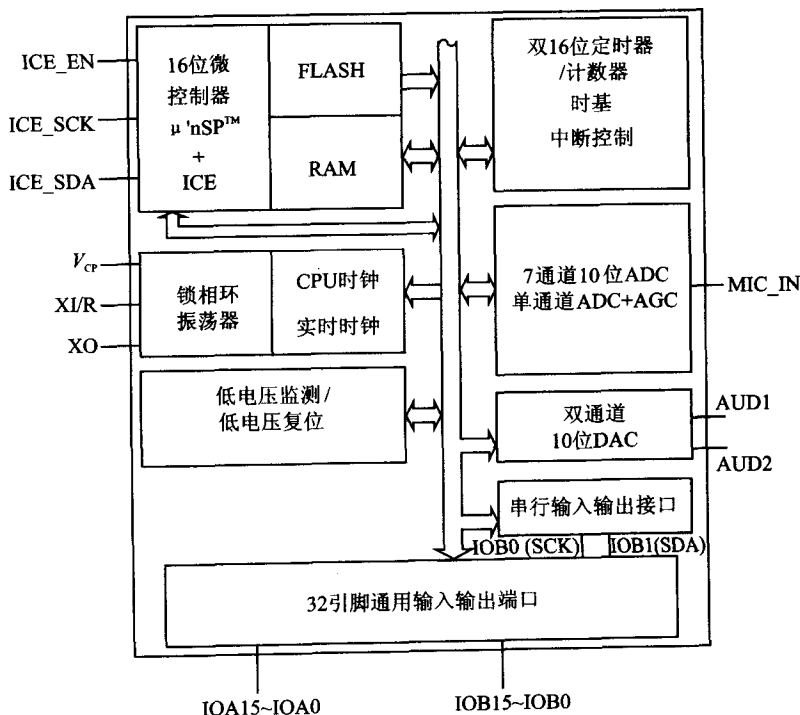


图 1.2 SPCE061A 的结构

1.2.4 芯片的引脚排列和说明

SPCE061A 有两种封装:一种为 84 个引脚,即 PLCC84 封装,其排列如图 1.3 所示;另一种为 80 个引脚,即 LQFP80 封装,其排列如 1.4(a)所示,图 1.4(b)为 SPCE061A 的实物图。

表 1.1 列出了 SPCE061A PLCC84 封装引脚功能说明。

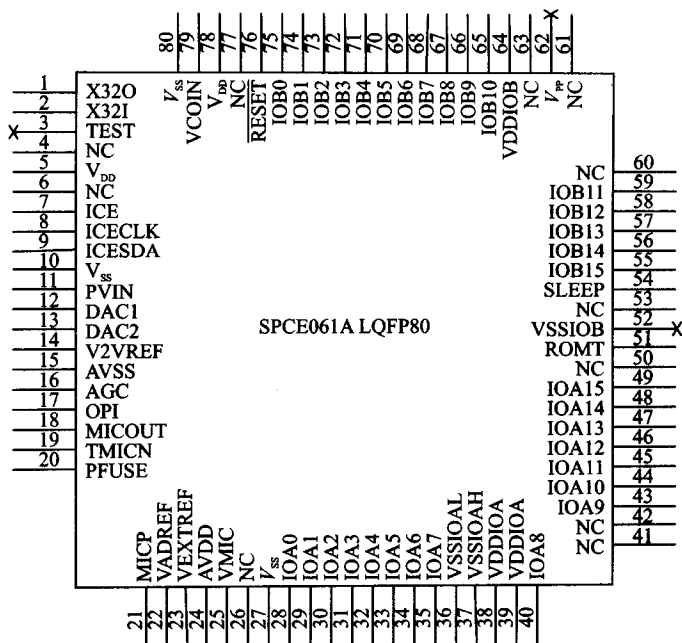
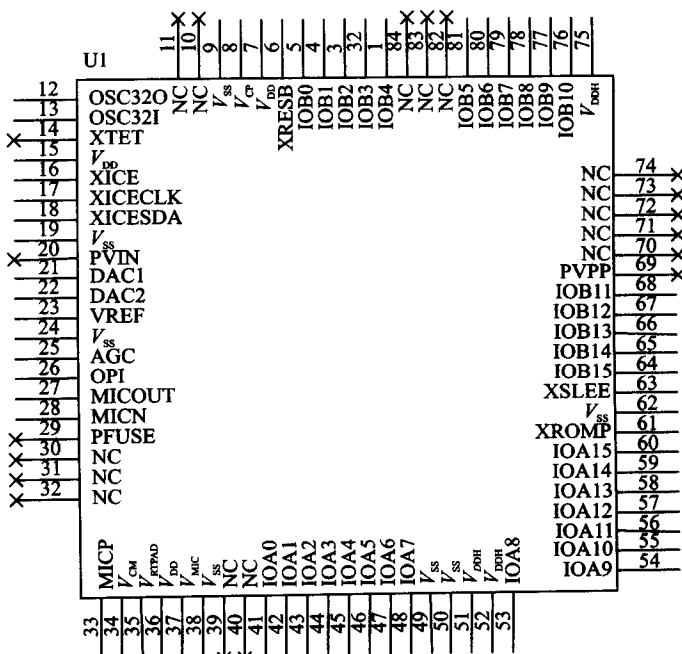
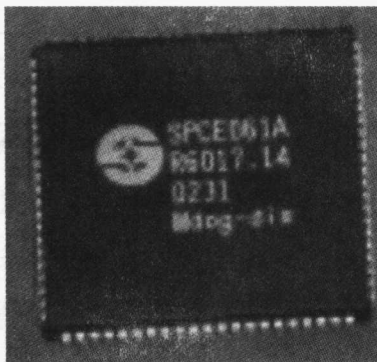


图 1.3 SPCE061A PLCC84 封装排列及实物图



(a) PLCC8封装排列



(b) SPCE061A 实物图

图 1.4 SPCE061A LQFP80 封装排列图

表 1.1 SPCE061A PLCC84 封装引脚说明

引脚名称 •	引脚编号	类 型	描 述
IOA[15 : 8]	60~53	输入输出	IOA[15 : 8]: 双向 IO 口
IOA[7 : 0]	48~41	输入输出	IOA[7 : 0]: 可编程为唤醒源 IOA[6 : 0]: 与 ADC Line_In 输入共享
IOB[15 : 11]	64~68	输入输出	IOB[15 : 11]: 双向 IO 口 IOB10~0 除用做普通的 IO 口, 其复用功能:
IOB10	76	输入输出	IOB10: UART(通用异步串行)发送端 Tx
IOB9	77	输入输出	IOB9: TimerB PWM(脉宽调制)输出 BPWMO
IOB8	78	输入输出	IOB8: TimerA PWM(脉宽调制)输出 APWMO
IOB7	79	输入输出	IOB7: UART(通用异步串行)接收端 Rx
IOB6	80	输入输出	IOB6: 双向 IO 口
IOB5	81	输入输出	IOB5: 外部中断源 EXT2 的反馈
IOB4	1	输入输出	IOB4: 外部中断源 EXT1 的反馈
IOB3	2	输入输出	IOB3: 外部中断源 EXT2
IOB2	3	输入输出	IOB2: 外部中断源 EXT1
IOB1	4	输入输出	IOB1: 串行接口数据信号 SDA
IOB0	5	输入输出	IOB0: 串行接口时钟信号 SCK
DAC	21	输出	DAC1 音频输出

续表 1.1

引脚名称	引脚编号	类 型	描 述
DAC2	22	输出	DAC2 音频输出
OSC32O	13	输入	32 768 Hz 晶体振荡器输入
OSC32I	12	输出	32 768 Hz 晶体振荡器输出
VCOIN	8	输入	PLL 的 RC 滤波器引脚
AGC	25	输入	AGC 的控制端
MICN	28	输入	麦克风差动输入(负极)
MICP	33	输入	麦克风差动输入(正极)
VREFZ	23	输出	2.0 V 电压输出,最大可达 5 mA 的驱动电流;可作为外部 ADC Line_In 通道的最高参考输入电压,不可作为电源使用
MICOUT	27	输出	麦克风第一级放大器输出端,输出端外接电阻可决定 AGC 增益倍数
OPI	26	输出	麦克风第二级放大器输入端
VEXTREF	35	输入	ADC Line_In 通道的最高参考输入电压
VMIC	37	输出	麦克风电源供应端
VCM	34	输出	AD 参考电压(由内部 ADC 产生)
V _{DD}	7,15	输入	逻辑电路的 V _{DD} 参考电压
V _{SS}	9,19,38	输入	逻辑电路与 IO 端口的 GND 参考电压
VDDIO	51,52,75	输入	IO 端口的 V _{DD} 参考电压
VSSIO	49,50,62	输入	IO 端口的 GND 参考电压
AVDD	36	输入	模拟电路(A/D、D/A 和 2 V 稳压源)V _{DD} 参考电压
AVSS	24	输入	模拟电路(A/D、D/A 和 2 V 稳压源)GND 参考电压
RESET	6	输入	系统复位(低有效)
XSLEEP	63	输出	睡眠状态指示,进入睡眠状态时输出高电平
XICE	16	输入	激活 ICE(高有效)
XICECLK	17	输入	ICE 串行接口时钟信号
XICESDA	18	输入输出	ICE 串行接口数据信号
XTEST	14	输入	测试模式时接高电平,正常使用时接地(GND)或不连接
PFUSE,PVIN*	29,20	输入	程序保密设定引脚,用户慎重使用

注: * 可将 PFUSE 接 5 V, PVIN 接 GND 并维持 1 s 以上即可将内部保险丝熔化,此后外部就无法向闪存读写资料。