
超低功耗技术

简介

本文档将介绍SAM D、SAM C和SAM L系列器件中关于如何针对低功耗应用进行优化的各项技术，其中还包括与事件系统和直接存储器访问控制器结合使用的休眠模式和SleepWalking等技术。本文档中介绍的技术涵盖系统硬件和外设功能。

目录

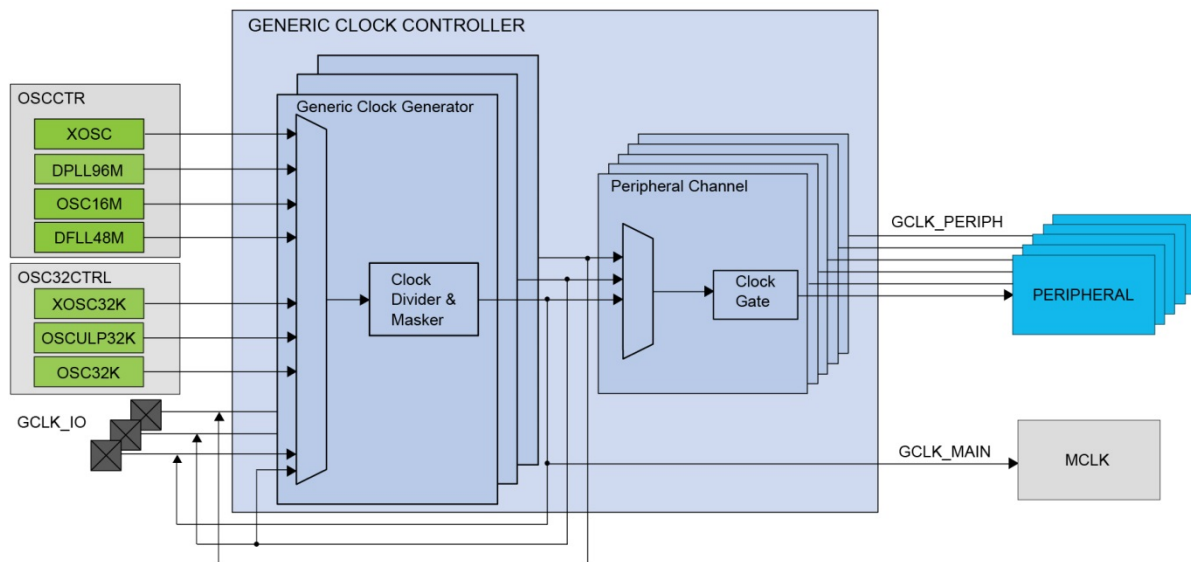
简介	1
1. 时钟源和时钟发生器	3
2. 休眠模式	4
3. 事件系统	5
4. 直接存储器访问	6
5. SleepWalking.....	7
6. 性能等级和电源域.....	8
7. 未使用的外设.....	10
8. I/O引脚配置	11
9. 频率注意事项	12
Microchip网站.....	13
变更通知客户服务.....	13
客户支持	13
Microchip器件代码保护功能	13
法律声明	14
商标	14
DNV认证的质量管理体系	15
全球销售及服务网点	16

1. 时钟源和时钟发生器

为了降低应用的功耗，应禁止所有未使用的时钟源。但不同的外设应用中通常需要以不同的频率运行，因此往往会使用不同的时钟源。随着使能的时钟源数量不断增加，功耗也会相应增大。

SAM D、SAM C和SAM L系列器件均配有一个通用时钟控制器（GCLK），其中包含多个通用时钟发生器。图1-1显示了SAM L系列中的GCLK实现。一个时钟源可以用于多个通用时钟发生器，而每个发生器可以单独对时钟源进行分频以获得不同的频率。如果选用此解决方案，只需一个时钟源即可实现多种频率，而无需使能多个时钟源。此外，SAM D、SAM C和SAM L系列器件上的时钟系统允许时钟源在未被外设请求时自动关闭。此功能通过将1写入相应时钟源的按需控制（ONDEMAND）位来实现。

图1-1 器件时钟图示例



2. 休眠模式

在许多应用中，处理器并不会连续运行，而且各种外设可能大部分时间也处于空闲模式。例如，应用在开始使用处理器和外设之前可能会等待某一外部触发信号。通过利用SAM D、SAM C和SAM L系列器件中的各种休眠模式，使器件在等待时休眠，可以显著降低功耗。

SAM D系列器件有两种休眠模式（空闲和待机），其中空闲模式分为三个等级：IDLE0、IDLE1和IDLE2。在空闲休眠模式下，CPU时钟会停止运行，具体取决于空闲等级，而其他同步时钟也会随之停止运行。在待机模式下，除配置为在待机模式下运行的时钟外，所有其他时钟均会停止运行。有关SAM D系列器件的休眠模式的更多信息，请参见相应的数据手册。

SAM L系列器件有多种休眠模式：空闲、待机、备用（仅限SAM L21和SAM L22）和关闭。在空闲模式下，仅CPU时钟停止运行。在待机模式下，CPU时钟和主时钟（MCLK）停止运行，稳压器和SRAM均处于低功耗模式。外设时钟（GCLK）仅在外设请求时运行。在备用模式下，所有时钟均停止运行，SRAM将无法保留任何数据。在关闭模式下，整个器件完全掉电，只能通过外部或上电复位（Power-on-Reset, POR）唤醒。有关SAM L系列器件的休眠模式的更多信息，请参见相应的数据手册。

SAM C系列器件有四种休眠模式：IDLE0、IDLE1、IDLE2和待机。这些休眠模式与SAM D系列器件的休眠模式和等级类似。有关SAM C系列器件的休眠模式的更多信息，请参见相应的数据手册。

通过发出等待中断（Wait For Interrupt, WFI）指令进入休眠。在进入休眠模式之前，必须选择休眠模式。对于SAM D系列器件，通过写入Arm® Cortex®系统控制寄存器中的深度休眠位（SCR.SLEEPDEEP）来配置休眠模式。如果SCR.SLEEPDEEP寄存器位配置为空闲休眠模式，则还必须配置休眠模式寄存器中的空闲模式配置位组（SLEEP.IDLE）。

对于SAM L和SAM C系列器件，通过写入休眠配置寄存器中的休眠模式位组（SLEEPCFG.SLEEPMODE）来配置休眠模式。

当应用完全由中断驱动时，如果Arm Cortex系统控制寄存器中的退出时休眠位（SCR.SLEEPONEXIT）置1，则器件可以更快地返回休眠模式。

在本节及后续若干小节中，将以温度监控应用为例介绍本文档中涉及的一些超低功耗技术，以便读者更容易理解。

假设有以下这样一个简单的应用：使用带模数转换器（Analog-to-Digital Converter, ADC）的温度传感器监控房间内的温度。为了降低功耗，CPU将处于休眠模式，并在实时计数器（Real Time Counter, RTC）发出中断时定期唤醒。传感器测得的数据将与预定义的阈值进行比较，用以决定下一步的操作。如果数据未超出阈值，CPU将恢复休眠模式，等待下一个RTC中断。

3. 事件系统

回到[2. 休眠模式](#)中介绍的温度监控应用，每次ADC执行测量时都会唤醒CPU。由于当ADC测量值低于预定义阈值时，CPU将恢复休眠模式，因此上述解决方案将会无故唤醒CPU。随之而来的结果是，CPU在工作模式下花费了不必要的时间，并且增加了不必要的功耗。通过使用事件系统，可以进一步缩短CPU在工作模式下的时间。

SAM D、SAM C和SAM L系列器件上的许多外设都可以配置为生成事件，而事件系统可用于将这些事件传输到不同的外设。必须在接收外设中配置如何对传入事件作出响应。对于温度监控应用，必须将RTC设置为产生溢出事件，该事件随后会通过配置事件系统传输到ADC。必须将ADC配置为在接收到事件时启动转换。通过使用事件系统，RTC溢出即可触发ADC转换，而无需唤醒CPU。此外，ADC可以配置为在超出阈值时产生中断，而该中断将唤醒CPU。

4. 直接存储器访问

SAM D11、D21、L10、L11、L21、L22和C21系列器件具有直接存储器访问控制器（Direct Memory Access Controller, DMAC），有助于在CPU休眠时实现节能。请注意，CPU在因温度超出阈值而被唤醒之后，必须处理先前的温度测量结果。这意味着每次ADC转换的结果都需要保存在存储器中。传统情况下，CPU会在每次ADC转换时处于唤醒状态，并在将温度值写入存储器之后恢复休眠模式。DMA是一种无需CPU干预即可在存储器和外设之间传输数据的机制。必须为DMA通道设置源、目标和传输触发信号。对于温度监控应用，将ADC结果寄存器设置为源，将SRAM地址设置为目标，将ADC结果就绪事件设置为传输触发信号。当ADC结果就绪时，将触发DMA传输，从而将结果传输到SRAM。有关DMAC的更多信息，请参见数据手册。

5. SleepWalking

若要温度监控应用实现低功耗，可以使用SAM D、SAM C和SAM L系列器件中提供的SleepWalking功能。使能SleepWalking功能时，器件仅在外设需要时为其提供时钟，而不会唤醒CPU。此功能通过将1写入相应时钟源寄存器中的按需位来使能。

对于温度监控应用，这意味着ADC的外设时钟（GCLK_ADC）将仅在ADC执行转换时运行。当ADC接收到来自RTC的溢出事件时，它将请求通用时钟控制器为其通用时钟，GCLK_ADC随后将开始运行。

ADC转换完成后，GCLK_ADC将立即停止运行。

注：使用待机休眠模式时，必须将外设配置为在待机模式下运行。向外设控制寄存器（用于ADC的控制A）中的在待机模式下运行位（CTRLA.RUNSTDBY）写入1，将使能外设在此模式下运行。

SAM L10、SAM L11和SAM L21系列器件具有不同的电源域，其中未使用的电源域可以设置为低功耗状态。将电源域设置为低功耗状态可以配置为在SleepWalking期间动态发生。对于温度监控应用，可以将器件配置为在ADC空闲时将ADC所在的电源域设置为低功耗状态。有关电源域的更多信息，请参见[6.性能等级和电源域](#)。

注：在SleepWalking期间使用动态电源域将导致响应性能下降，因为开启电源域相对比较耗时。

6. 性能等级和电源域

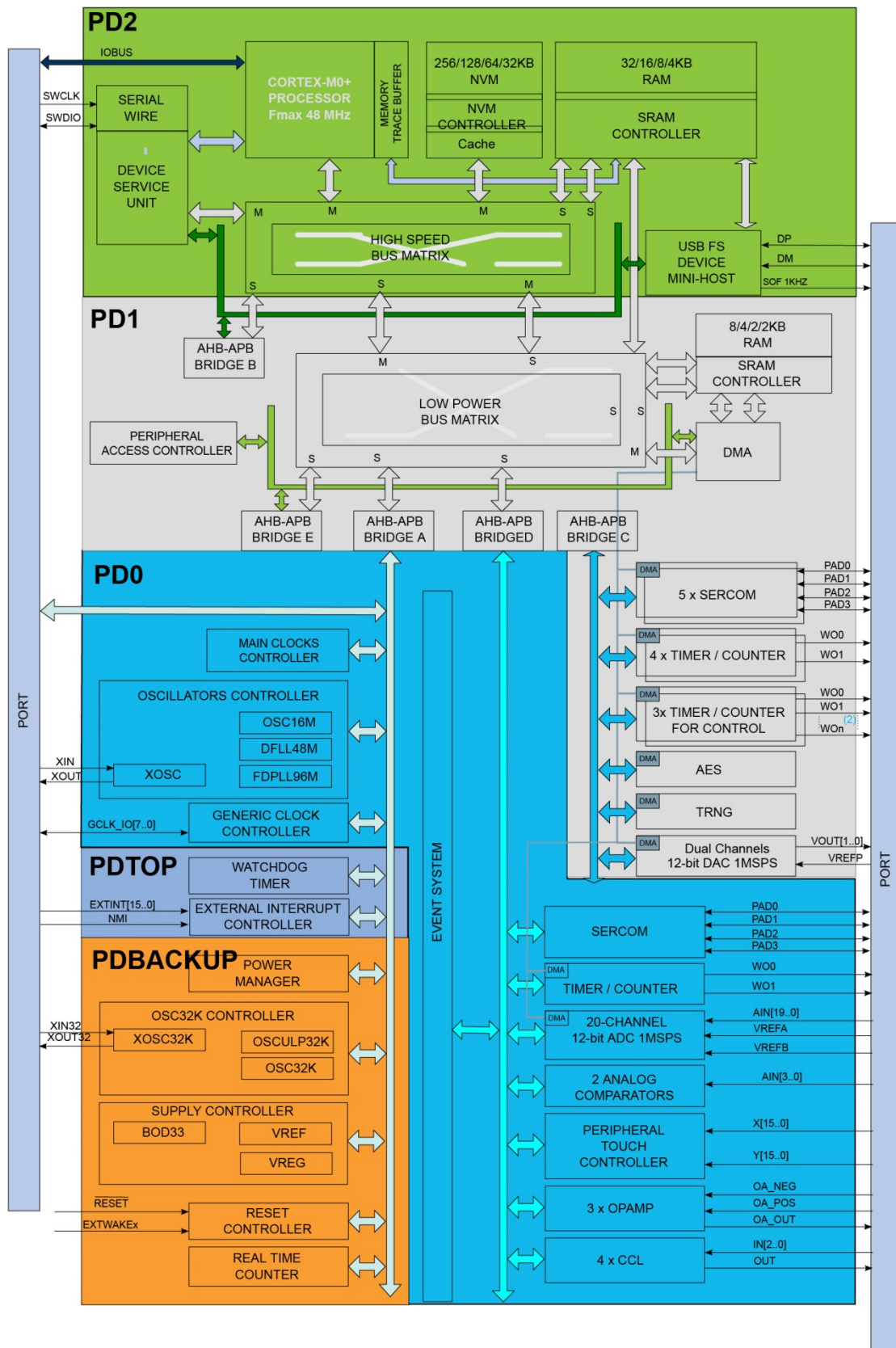
依靠主稳压器（主VREG）运行的SAM L系列器件可以在不同的性能等级下工作。性能等级的变化将改变工作电压大小，进而将影响功耗。性能等级越低，功耗越低，但工作频率也会随之变得越低。有关各性能等级的更多信息，请参见[AT04296: 了解性能等级和电源域](#)。

SAM L10、SAM L11和SAM L21系列器件具有多个数字电源域，其中系统模块和外设的电源域彼此相互独立。电源域可以处于工作状态、保持状态或关闭状态。保持状态属于低功耗状态，寄存器和SRAM的状态将得到保持。利用这些电源域的保持状态和关闭状态可以将降低应用的总体功耗。

注： SAM L10和SAM L11只有一个可切换的电源域，称为PDSW。

SAM L22系列器件不具备管理电源域状态的功能。

图6-1. 电源域示例 (SAML21)



7. 未使用的外设

应用不需要的外设应当禁止（CTRLx.ENABLE为零）。对于SAM D和SAM C系列器件，即使外设不请求时钟，时钟信号也会传播到通用时钟，进而导致不必要的功耗增加。将未使用的外设的通用时钟连接到禁止的时钟发生器将能够防止这种不必要的功耗。

8. I/O引脚配置

未使用的I/O引脚应采用默认配置，因为这样可以I/O焊盘与I/O引脚断开，从而降低泄漏电流。当I/O引脚采用默认配置时，数据方向（DIR）寄存器中对应于该引脚的位、引脚配置y寄存器中的输入使能位（PINCFGy.INEN）和引脚配置y寄存器中的上拉使能位（PINCFGy.PULLEN）均写为零。

9. 频率注意事项

理论上，数字CMOS逻辑仅在逻辑信号或时钟信号发生切换时消耗功率，因此尽可能使时钟频率保持较低水平对于降低功耗至关重要。但是，降低系统频率会导致响应性能下降。有时在工作模式下花费的时间会很短，这种情况下最好以高频率运行，因为这样可以使器件更快地恢复休眠模式。

对于SAM D、SAM C和SAM L系列器件上的某些外设，可在通用时钟到达外设后进行预分频。此功能可实现更高的时钟灵活性，但功耗也更大。当频率在时钟发生器而不是在外设中进行预分频时，传播到外设的通用时钟频率会较低。频率越低，则意味着时钟发生器和外设之间的切换会越少，因此功耗也会越低。

Microchip网站

Microchip网站 (<http://www.microchip.com/>) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及Microchip顾问计划成员名单
- **Microchip业务**——产品选型和订购指南、最新Microchip新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip销售办事处、代理商以及工厂代表列表

变更通知客户服务

Microchip的变更通知客户服务有助于客户了解Microchip产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请登录Microchip网站<http://www.microchip.com/>。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

客户支持

Microchip产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

Microchip器件代码保护功能

请注意以下有关Microchip器件代码保护功能的要点：

- Microchip的产品均达到Microchip数据手册中所述的技术指标。
- Microchip确信：在正常使用的情况下，Microchip系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以Microchip数据手册中规定的操作规范来使用Microchip产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip愿意与关心代码完整性的客户合作。

- **Microchip**或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。**Microchip**承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏**Microchip**代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（**Digital Millennium Copyright Act**）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。**Microchip**对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。

Microchip对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将**Microchip**器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障**Microchip**免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，否则在**Microchip**知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、**Microchip** 徽标、**AnyRate**、**AVR**、**AVR** 徽标、**AVR Freaks**、**BitCloud**、**chipKIT**、**chipKIT** 徽标、**CryptoMemory**、**CryptoRF**、**dsPIC**、**FlashFlex**、**flexPWR**、**Heldo**、**JukeBlox**、**KeeLoq**、**Kleer**、**LANCheck**、**LINK MD**、**maXStylus**、**maXTouch**、**MediaLB**、**megaAVR**、**MOST**、**MOST** 徽标、**MPLAB**、**OptoLyzer**、**PIC**、**picoPower**、**PICSTART**、**PIC32** 徽标、**Prochip Designer**、**QTouch**、**SAM-BA**、**SpyNIC**、**SST**、**SST** 徽标、**SuperFlash**、**tinyAVR**、**UNI/O** 和 **XMEGA** 是**Microchip Technology Incorporated** 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、**The Embedded Control Solutions Company**、**EtherSynch**、**Hyper Speed Control**、**HyperLight Load**、**IntelliMOS**、**mTouch**、**Precision Edge** 和 **Quiet-Wire** 为**Microchip Technology Incorporated** 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、**AKS**、**Analog-for-the-Digital Age**、**Any Capacitor**、**AnyIn**、**AnyOut**、**BodyCom**、**CodeGuard**、**CryptoAuthentication**、**CryptoAutomotive**、**CryptoCompanion**、**CryptoController**、**dsPICDEM**、**dsPICDEM.net**、**Dynamic Average Matching**、**DAM**、**ECAN**、**EtherGREEN**、**In-Circuit Serial Programming**、**ICSP**、**INICnet**、**Inter-Chip Connectivity**、**JitterBlocker**、**KleerNet**、**KleerNet** 徽标、**memBrain**、**Mindi**、**MiWi**、**motorBench**、**MPASM**、**MPF**、**MPLAB Certified** 徽标、**MPLIB**、**MPLINK**、**MultiTRAK**、**NetDetach**、**Omniscient Code Generation**、**PICDEM**、**PICDEM.net**、**PICKit**、**PICtail**、**PowerSmart**、**PureSilicon**、**QMatrix**、**REAL ICE**、**Ripple Blocker**、**SAMICE**、**Serial Quad I/O**、**SMART-I.S.**、**SQI**、**SuperSwitcher**、**SuperSwitcher II**、**Total Endurance**、**TSHARC**、**USBCheck**、**VariSense**、**ViewSpan**、**WiperLock**、**Wireless DNA** 和 **ZENA** 为**Microchip Technology Incorporated** 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为**Microchip Technology Inc.**在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为**Microchip Technology Inc.**在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 是**Microchip Technology Inc.**的子公司**Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG** 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2019, Microchip Technology Incorporated版权所有。

ISBN: 978-1-5224-4159-5

AMBA、Arm、Arm7、Arm7TDMI、Arm9、Arm11、Artisan、big.LITTLE、Cordio、CoreLink、CoreSight、Cortex、DesignStart、DynamIQ、Jazelle、Keil、Mali、Mbed、Mbed Enabled、NEON、POP、RealView、SecurCore、Socrates、Thumb、TrustZone、ULINK、ULINK2、ULINK-ME、ULINKPLUS、ULINKpro、 μ Vision 和Versatile 是Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他国家/地区的商标或注册商标。

DNV认证的质量管理体系

ISO/TS 16949

Microchip位于美国亚利桑那州Chandler和Tempe与位于俄勒冈州Gresham的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了ISO/TS-16949:2009认证。Microchip的PIC[®] MCU和dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®]跳码器件、串行EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了ISO 9001:2000认证。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 1-480-792-7200 传真: 1-480-792-7277 技术支持: http://www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 檳榔嶼 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4450-2828 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-67-3636 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 赖阿南纳 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-7288-4388 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 乔治亚州 电话: 1-678-957-9614 传真: 1-678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 1-512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 1-774-760-0087 传真: 1-774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 1-630-285-0071 传真: 1-630-285-0075 达拉斯 艾迪生, 德克萨斯州 电话: 1-972-818-7423 传真: 1-972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 1-248-848-4000 休斯敦, 德克萨斯州 电话: 1-281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯维尔, 印第安纳州 电话: 1-317-773-8323 传真: 1-317-773-5453 电话: 1-317-536-2380 洛杉矶 米申维耶霍, 加利福尼亚州 电话: 1-949-462-9523 传真: 1-949-462-9608 电话: 1-951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 1-919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 1-631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 1-408-735-9110 电话: 1-408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 1-905-695-1980 传真: 1-905-695-2078			