

民用宇航芯片产业调研与分析

郭华

摘要：近年来商业航天蓬勃发展，高可靠宇航芯片是保障航天事业发展的重要基础，自主可控民用宇航芯片迎来发展机遇期。本文从宇航芯片的技术特点、关键特性、技术体系着手，分析了民用宇航芯片国内外发展的现状以及相关的产业政策和应用领域，着重提出了行业发展面临的问题，并给出了应对策略和针对性建议。

关键词：宇航芯片、抗辐照、SoC、SiP、SPARC

1、概述

近年来全球商业航天市场活跃，从卫星发射次数情况来看，根据 SIA 数据显示，2020 年全球共进行 90 次卫星发射活动，其中 64 次为商业卫星发射，占比达到 71%；从卫星订单情况来看，2020 年全球共签署 97 颗卫星制造订单，其中商用卫星 36 颗，占整体比例达到 37%。

同样，在新一轮工业革命背景下，我国大力推行“互联网+航天”理念，商业航天产业取得了一大批重大突破，商业航天市场规模快速增长，多家商业航天企业提出了数十个商业航天项目，包括遥感、通信、导航增强、气象、新技术示范等诸多应用。据统计，2015 年我国商业航天行业市场规模 2340.1 亿元，到 2022 年达到了 6148.0 亿元，年复合增长率为 14.8%。

高可靠的宇航芯片是保障航天事业发展的重要基础，近年来，国家在芯片国产化替代方面加大投入并取得了很大进展，服务于自主可控目标的商业航天宇航芯片及相关产业面临着高速发展的机遇期。

2、宇航芯片关键特征

2.1 技术概况

芯片是半导体元件产品的统称，是集成电路的载体，由晶圆分割而成，集合多种电子元器件实现某种特定功能的电路模块。它是电子设备中最重要的部分，主要承担着运算和存储的功能。芯片犹如一个人的大脑存在，随着人工智能，物联网，车联网等产业的兴起，对芯片的需求量越来越大。2015 年，中国半导体市场份额占到世界的 50% 以上，成为全球的核心市场。同年，中国集成电路进口金额 2307 亿美元，其进口额超过原油，成为我国第一大进口商品。在快速增长的市场需求和科技创新驱动下，2018 年我国芯片进口额突破 3000 亿美元，达到 3125 亿美金，2017 年是 2700 多亿美金。

表 1 芯片等级的划分及对应的标准

	民用级	工业级	汽车级	军工级
工作温度范围	0C-70C	-40C-85C	-40-125C	-55-125C
电路设计	防雷设计, 短路保护, 热保护等	多级防雷设计, 双变压器设计, 抗干扰设计, 短路保护, 热保护, 超高压保护等	多级防雷设计, 双变压器设计, 抗干扰技术, 多重短路保护, 多重热保护, 超高压保护等	辅助电路和备份电路设计, 多级防雷设计, 双变压器设计, 抗干扰技术, 多重短路, 多重热保护, 超高压保护
工艺处理	防水处理	防水, 防潮, 防腐, 防霉变处理	增强封装设计和散热处理	耐冲击、耐高低温、耐霉菌
系统成本	线路板一体化设计, 价格低廉但维护费用较高	积木式结构, 每个电路均带有自检功能, 造价稍高但维护费用低	积木式结构, 每个电路均带有自检功能并增强了散热处理, 造价较高维护费用也较高	造价非常高, 维护费用也高

宇航芯片并没有严格公认的标准或定义，比较宽泛的看法是，面向航天领域，具有抗辐照能力，用于箭载计算机、星载计算机、导航系统等方面承担着复杂的运算和数据处理功能的芯片都可以称为宇航芯片。总体来说，宇航级芯片在设计、工艺、使用环境等方面比民用级、工业级要求更高。

芯片就犹如人类大脑，在航天领域，对各类芯片的需求量很大，如各种 CPU、GPU、FPGA、SOC、存储芯片等，各种类型的芯片在航天装备发挥着不同功能。随着航天装备不断向高集成度、多功能、低功耗方向发展，迫切需要小型化、高性能、高效率、高可靠性的芯片。在这种“空天”应用环境下，对于芯片的也有着更高的要求，除了满足计算性能之外，还要面临着恶劣极限的工作环境，如极端苛刻的高低温、电磁干扰、宇宙辐射等。

2.2 关键特征

相比普通芯片，宇航芯片在设计、制造、封装等方面有着更高的技术要求，其技术特征主要体现在以下几个方面：

高效能架构：宇航芯片一方面要满足实时计算的要求，如飞行器姿态控制，目标跟踪，SAR 图像处理，处理的过程通常需要很大的计算量，这就要求芯片在设计上采用多核并行计算的架构，来满足计算性能的要求。而另一方面又不能功耗太高，否则芯片带来的发热和耗电量对嵌入式航天装备的可靠性带来不利影响，因此在设计上采取低功耗技术，如电源门控、动态频率调节等优化手段。为了保证航天装备的稳定可靠运行，在嵌入式处理器架构上必须考虑最佳性能和功耗比，采用高效能的芯片架构。以宇航芯片为例，所使用的处理器架构主要有两种，一种是由美国使用的 POWERPC 架构，另一种就是欧洲主导的 SPARC 架构，而在民用领域常见的 x86、ARM 等架构并不适用于航天领域。由于 SPARC 架构具有开源的优势，能够摆脱美国的制约，该架构已成功地应用在航天工程中，并发挥着重要的作用。

高可靠技术：芯片是航天设备控制的中枢神经，随着工程复杂性的不断提高，装备对芯片的可靠性要求越来越高。航天电子产品不但要耐冲击、振动等苛刻的力学环境，而且要承受高温、低温、

高真空、高辐射等极端条件。另外，对于大部分空天装备来说，电子产品的可维护性非常差，而且一旦发生故障，其后果往往比较严重，甚至是致命的。因此相对于普通计算机，其可靠性要求更高。由于高能粒子大多被地球大气层屏蔽，集成电路中位翻转发生的几率会随着海拔升高而提高，在飞机上的几率是海平面的 100 倍。随着芯片制造工艺降到 90 纳米以下，宇宙射线对宇航芯片的影响已经不能忽视。对于地面上规模庞大的超计算机和数据中心来说，海量的内存和芯片的使用，会把宇宙射线的影响成几何级数放大，成为影响计算可靠性的一个无法忽视的因素。对于宇航芯片来说，必须要采取加固防护措施，保证芯片在空天环境下稳定高效地运行。芯片的防护加固一方面是从系统、结构、电路、器件级的设计技术方面进行抗辐射加固设计，如表 2 所示；另一方面采用特殊的工艺进行抗辐射处理，如单粒子加固 SOI 工艺和 SOS 工艺，BAE 外延 CMOS 工艺等。

表 2 主要加固防护技术

加固防护层次	加固防护技术
器件级	冗余或加倍电路元件
电路级	误差检测和校正电路
结构级	隔离、补偿或校正、去耦等电路技术
系统级	容错、重构、自修复等技术

➤ 片上系统集成：整体优化，系统集成是航天领域电子产品的发展趋势，将数据处理、数据存储、数据通信、能耗控制以及各种协议接口集成在一个专用芯片上，将系统，软件、硬件一体化融合，进行协同设计是提升航天型号产品性能的重要手段。将微处理器、模拟 IP 核、数字 IP 核和存储器(或片外存储控制接口)集成在单一芯片上，实现特定功能、专用应用目标的芯片称为片上系统芯片，即 SoC(System-on-Chip)。SoC 是信息系统的芯片集成，也可以看作是一个包含软硬件的微小型系统，在航天领域，嵌入式 SoC 芯片是技术发展的趋势。SoC 芯片的优势在于可以减小系统级产品的尺寸、降低系统级产品的成本和复杂性，使之具有高可靠、实时性、高集成、低功耗等优点。在航天领域，嵌入式 SoC 芯片已经超越的传统 IC 设计的范畴，它包含了系统、软件、IP 核，以及工具链等多个层面。航天 SoC 芯片产品的可重构、可配置等特性至关重要，缩短系统研制周期，提升系统功能密度，是满足装备小型化、智能化的重要保障。

➤ 系统级封装：航空航天、工业控制领域的嵌入式系统的设计人员所面临的挑战是如何能实现高性能、高可靠、小型化，希望所采用的器件能比上一代产品的体积更小、集成度更高、功能更强。立体化封装技术突破了传统平面封装的局限，使单个封装体内可以集成更多的芯片，提高组装效率，形成完整的计算系统，充分地保证了系统的小型化。系统级封装，即 SiP(System in Package)，它是将多个芯片和可能的无源元件集成在同一封装内，如图所示，形成具有一个电子系统的整体或主要部分功能的模块，具备较高的性能密度、更高的集成度、更小的成本和更大的灵活性，从而达到性能、体积和重量等指标的最佳组合，是一项综合性的微电子技术。航空航天电子产品具有高性能、小型化、多品种和小批量等特点，立体封装技术顺应了这种需求，在卫星、运载火箭、雷达等装备上有着广泛的应用。

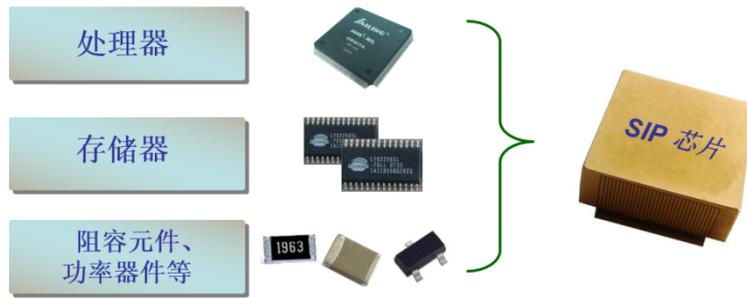


图 1 SiP 立体封装技术

2.3 技术体系

航天装备中的电子信息模块是各类装备基础和核心，其技术涉及多个层面，贯穿了工艺、材料、总线、芯片、工具链、算法以及应用等技术层级。各个层级紧密相连，构成了对航天电子信息装备的强力支撑。工艺层和器件层提供基本的集成电路制造工艺，以及各类总线接口和存储器件，它们是构成芯片的最基本功能单元，工艺上的进步将直接影响芯片性能的提升。芯片层主要是解决芯片系统级架构问题，如多核一致性、片上互联结构，存储器结构，缓存的设计等。系统和应用层主要面向航天领域提供的各类开发工具链、编译器、仿真器，以及各种图像、视觉、控制算法。



图 2 宇航芯片技术体系

如图所示，芯片处在整个技术链条的中部，向上为各类导航、控制等算法和应用提供高效支持，向下对工艺、封装等提出更高的要求。

3、宇航芯片发展现状

3.1 国外发展现状

从全球集成电路产业发展历程来看，在美国，欧盟以及日韩的产业发展、崛起和形成的产业结构过程中，都得到政府长期、持续地大力支持。美国一直领先全球集成电路产业发展，截止 2018 年，全球前 15 大半导体厂商中，美国企业的数量达到 7 家。在宇航芯片领域，美国也是保持着领先地位，1984 年美国颁布了国家合作研究方案（NCRA），重点支持国防、航天领域的集成电路产业，形成了从国家研究机构及其实验室，向产业转移，形成商业化、产业化的国家创新体系。美国集成电路产业的发展及其在全球的领先地位，得益于美国政府在战略发展方面的指导性政策、科技先导的技术发展模式以及全球最大的集成电路产品市场规模，这些成功经验对中国集成电路产业发展具有借鉴意义。

美国集成电路产业的发展为宇航芯片的研发和制造提供了强力的支撑，NASA 在宇航芯片上采用的均是 IBM 的 Power 架构，使用最多的是 RAD6000 和 RAD750 芯片，前者是民用芯片 RS6000 的抗辐射版本，后者是商用芯片 PowerPC750 的抗辐射版本。

表 3 美国主要宇航芯片及其应用情况

Processor	Architecture	Mission/Space Craft
RAD 6000	IBM POWER CPU	Pathfinder, Spirit and Opportunity Rovers, DAWN (Asteroid Rendezvous),
RAD750	IBM PowerPC 750	Curiosity, Morpheus Lander,
Mongoose V	MIPS R3000	New Horizons (Pluto)
80386, 80387	Intel	Space Shuttle, Hubble Space Telescope, International Space Station
NSSC-1	NASA Standard Spacecraft Computer	CGRO, Topex/Poseidon, UARS
1750A	MIL-STD 16 bit non-RISC CPU	Mars Global Surveyor, EOS Terra

欧洲方面主要采用 SPARC 架构作为核心宇航处理器，SPARC 具有高可靠、可扩展等特性，非常适合在航天航空领域应用。欧空局（ESA）于 1992 年决定采用 SPARC 处理器作为其新一代的宇航处理器架构，并推出了第一款基于 SPARC V7 指令集的套片 ERC32，成功使用于当时的国际太空站及部分卫星型号，开创了 SPARC 宇航芯片的先河。1998 年 ESA 又推出了整合 ERC32 套片之后的单片 TSC695。TSC695 芯片内嵌 ERC32 内核，设计使用原理图输入的方法，该设计方法设计难度高，功能扩展困难，代码可读性差，同时 ERC32 内核接口设计复杂，总线访问速度慢（最高只能达到 20MHz）。为了解决 ERC32 的短板，欧空局启动了 LEON 项目，该项目的目标是：提供开放、可靠和非专有的处理器设计。LEON 被定位为一个基于 SPARC V8 RISC 体系结构和指令集的微处理器内核，该核采用模块化功能设计方法和标准化接口设计技术，最后使用硬件描述语言 VHDL 实现，LEON 核最突出的优势是其良好的可配置性和可移植性。2002 第二代 LEON 核 Leon2 发布，Leon2 核包含一个整型处理单元和一个浮点处理单元，采用 5 级指令流水线和 AMBA 片内总线；同年 ATMEL 公司基于 LEON2 核设计生产了高可靠宇航级芯片 AT697。LEON2 只支持单个处理器，内核性能依然不高，且开发复杂，不能通过 CAD 软件进行一键式完成。随着宇航任务越来越复杂，其对宇航处理器的性能要求越来越

高，显然单核的 LEON2 已不能适应后续航空航天中的应用需求。2004 年第三代 LEON 核 LEON3 发布，与 LEON2 相比 LEON3 实现了对称多核处理器（SMP）的支持，采用 7 级指令流水线。LEON3 采用 GRLIB IP 库的模式开发，具有灵活的 IP 模块挂载和统一的硬件和软件调试接口，能方便使用 CAD 工具进行开发管理；产品方面，瑞典 Aeroflex Gaisler 公司基于 LEON3 核开发了 UT699、UT700 和 GR712RC 三款宇航芯片。2010 年，瑞典 Aeroflex Gaisler 公司公布了比 LEON3 核具有更高性能、更高集成度的 LEON4 核；LEON4 核采用了先进的“Non-blocking”流水线技术、指令流缓存器技术，具有带指令 FIFO 的浮点控制器，带 DMA 功能的缓存器控制器，128 位处理器交互总线以及整型处理和浮点处理并行的双流水线指令执行系统。LEON4 是目前 SPARC V8 处理器的最新版本，图 3 为国际 SPARC 嵌入式处理器发展现状图。

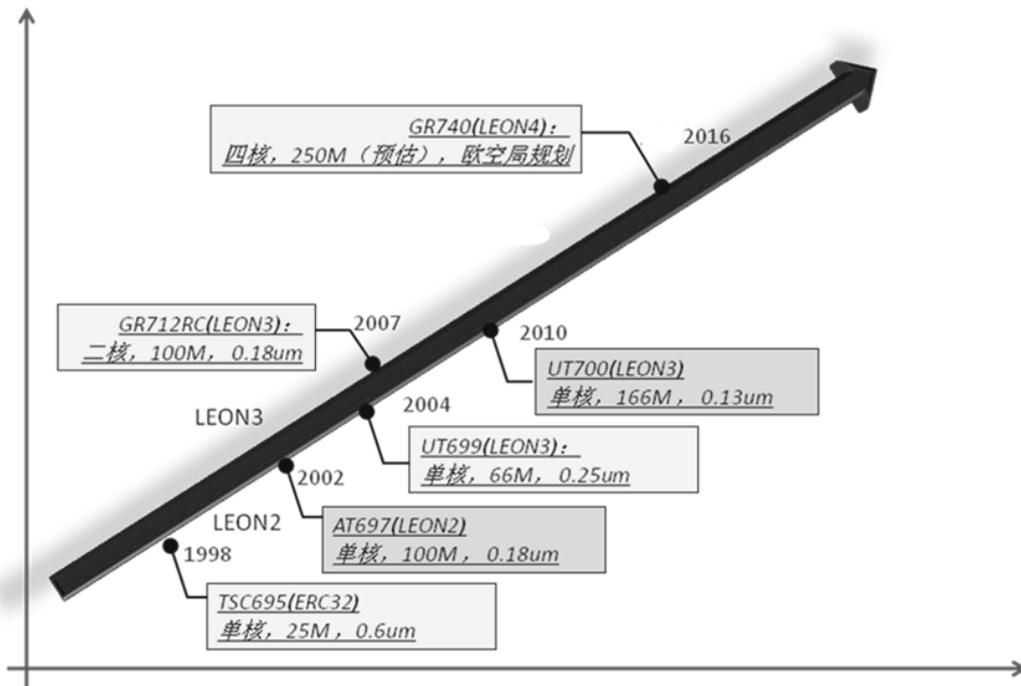


图 3 国际 SPARC 嵌入式处理器发展现状

3.2 国内发展现状

2023 年，我国商业航天领域新增企业数量为 11.3 万家，同比增长 29%；民营火箭企业共发射 13 次，同比增长 160%。今年，“商业航天”作为“新增长引擎”首次被写入政府工作报告。在这场全球“星际竞赛”中，中国力量“乘势升空”。

随着中国商业航天事业的发展，航天产品任务数量增多，应用领域不断扩大。在这种高速发展的下就要求作为关键要素的宇航芯片必须要有更好的性能和品质，它的质量直接关系到整机设备的技术性能和研制进程，决定了航天系统产品的性能指标和工作寿命。

国内集成电路产业起步和发展晚于国外，在宇航芯片领域起步就更晚，与欧美等发达国家相比具有一定差距，基础比较薄弱，多年以前，国内宇航芯片一定程度上依赖进口。国外航天强国都把核心元器件作为国家级战略技术资源，对于我国的宇航芯片进口实行严格的管制。受此影响，引进的宇航芯片在处理性能、可靠性、甚至数量上均有限制，导致航天装备在研发过程中不得不面临成

本高、周期长、可靠性差的问题，甚至可能面临禁运和停产的风险，严重制约了我国航天事业的发展。

随着国际形势的变化，以美国为首的西方国家对中国出口管制愈趋严厉。2011 年，美国启动了“军品管制清单”（USML）和“商业管制清单”（CCL）两份出口管制清单的调整改革，又加大了对欧洲等国家生产的、使用了美制元器件的宇航产品对华出口的限制，导致法国 TED、德国 TESAT 等公司准备出口到中国的宇航元器件因无法获得美国许可证而遭到禁运，目前清单调整工作仍在进行之中，禁运范围将可能不断增大。

宇航芯片自主可控和国产化是我国航天事业发展的必然选择，是我国建设航天强国道路上的一个重大考验。SPARC 架构嵌入式处理器和 LEON 核在 2000 年左右被引入中国，经过十几年的发展，SPARC 架构嵌入式处理器已经成为中国航天领域的主流处理器。珠海欧比特公司从成立之初就一直致力于 SPARC 架构处理器技术的研究及推广工作，是国内最早开展 SPARC 架构嵌入式处理器设计的公司。2003 年欧比特公司推出了第一款基于 LEON2 核的处理器 S698，采用 0.25um 工艺，主频可达 100MHz；又于 2004 年和 2010 年分别推出了三款基于 LEON2 核的处理器 S698-MIL 和 S698-T，这三款芯片目前都得到了大规模的应用。2011 年欧比特公司推出了全球第一款基于 LEON3 核的四核处理器 S698P4，S698P4 采用 0.13um 工艺，主频可达 400MHz；2013 年欧比特公司自主研发的与 LEON4 核完全兼容的具有抗辐照功能的多核处理器 S698PM 成功流片，该芯片是世界上第一款兼容 LEON4 核的 SOC 芯片，该芯片除了具有 LEON4 核所有的优点外，还集成了丰富的片内外设，如与 BU-61580 兼容的 1553B 控制器，片内 512KB RAM 等。除了欧比特公司以外，随着 SPARC 应用的越来越广泛，国内更多的企业和科研院所加入到了 SPARC 架构处理器的研制浪潮之中，2011 年，北京微电子技术研究所基于 LEON2 核设计了 BM3803 宇航芯片，北京控制工程研究所基于 LEON3 核设计了 SoC2008 和 SoC2012 宇航芯片等。图 4 为国内 SPARC 嵌入式处理器发展现状图。

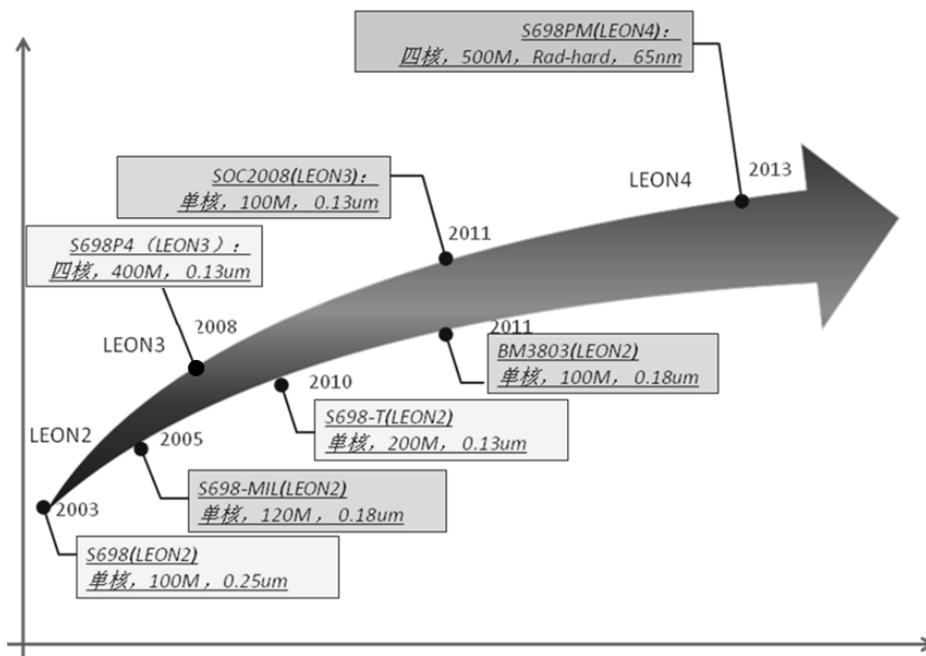


图 4 国内 SPARC 嵌入式处理器发展现状

除了 SPARC 架构之外，国内科研院所和企业还纷纷开展了 MIPS 等架构宇航处理器的研制，如深圳国微电子技术在研制基于 1750A 的处理器，中科院计算所研制的基于龙芯的抗辐照 SoC。这些国产芯片的出现为我国商业航天事业的自主可控奠定了重要基础，打破了国外垄断和技术封锁。



图 5 国产宇航芯片（从左到右：S698PM、龙芯、SoC2012）

3.3 产业政策及布局

宇航芯片的进步离不开国内集成电路产业的发展与壮大，国家高度重视芯片产业发展，制定了一系列的扶持政策。早在 2006 年，国家提出“核高基”专项，以推动我国电子信息产业国产化。国务院 2006 年发布《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》将“核高基”确定为与载人航天、探月工程并列的国家十六个科技重大专项之一。核高基重大专项的主要目标是：在核心电子器件、高端通用芯片及基础软件领域，突破“卡脖子”的难题，同步推动产业发展和国产化，提升我国电子信息产业的核心竞争力。2016 年 8 月，国务院国家科技创新“十三五”规划中再次突出自主可控 CPU 等信息化核心技术。2017 年 6 月 1 日，《网络安全法》正式实施。随着我国《网络安全法》的正式颁布，针对关键信息基础设施中所使用的重要信息技术产品自主可控、安全可信的要求日益迫切。

国内芯片产业已形成以环渤海、长三角、珠三角、中西部、福建沿海等五大产业区域为主的发展格局：以北京为核心的环渤海产业区重点布局设计和制造领域；以上海为核心的长三角产业区重点布局制造和封测领域；以深圳为核心的珠三角产业区重点布局设计领域；福建沿海产业区重点布局设计和制造领域；中西部产业区近年来也不断加强存储器制造、设计等领域部署。统计数据显示，截止至 2017 年全球芯片行业销售额突破 4000 亿美元，同比增长 21.6%。中国芯片行业销售额约为 800 亿美元，同比增长 24.8%。初步测算 2018 年全球芯片行业销售额达到 4779 亿美元左右，中国芯片行业销售额将达到千亿美元。

国内芯片行业完善的上下游产业链和庞大的市场份额，得益于国家政策的大力扶持，同时也为宇航芯片的发展创造了有利条件。

3.4 应用领域

民用宇航芯片的主要应用领域除了包括卫星控制、卫星导航，箭载计算机之外，也凭借其高可靠性在工业控制，地面装备等领域延伸。据相关数据统计，2018 年全球航天经济规模达 3600 亿美元，卫星产业总收入为 2774 亿美元。中国航天产业总收入在全球航天产业收入总额中仅占 3%左右，还有巨大的提升空间。美国卫星产业协会（SIA）在华盛顿举行的 SATELLITE 2019 会议上发布了

2019 年卫星产业状况报告。报告显示，2018 年发射卫星总量超过 300 颗，在轨业务运行的卫星数量达到 2100 颗，增长了 20%以上。其中，遥感卫星占总数的 39%，商业通信卫星占 22%。2018 年，全球卫星产业总收入与上年相比增长了 3%，其中卫星制造收入比 2017 年增长了 26%，发射服务收入比上一年增长了 34%，卫星消费宽带收入增长 12%。

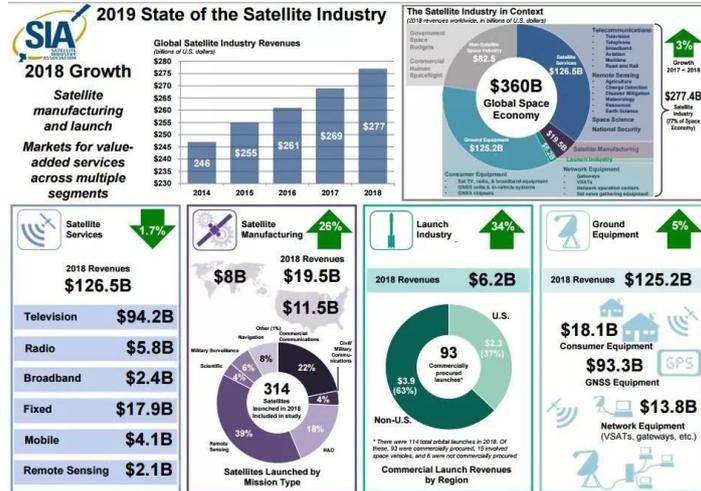


图 6 2019 年卫星产业状况报告（来源：美国卫星产业协会）

从 2018 年卫星的发射数量和类型、卫星制造业的增长以及对地观测业务和卫星宽带收入的增长可以看出，商业卫星产业正经历着巨大的转变。高通量卫星（HTS）、小卫星和立方体卫星的技术成就已经带来了卫星宽带、制造和发射服务收入的增长。商业卫星产业为全球提供至关重要的高速、高可靠和无处不在的通信、宽带、广播、无线电、导航、跟踪、气象数据和遥感服务。

中国航天产业在政府的支持下，经过几十年的努力，已经取得了举世瞩目的成就。2017 年底，国务院办公厅印发了《关于推动国防科技工业军民融合深度发展的意见》，其中特别指出，以遥感卫星为突破口，制定国家卫星遥感数据政策，促进卫星资源和卫星数据共享。2018 年 1 月，国家国防科技工业局发布了《民用航天发射项目许可》。通过商业化的方式发展航天，是融合发展战略的重要体现，商业化卫星正在进入一个前所未有的“黄金时代”，同时对于各类航天器件，包括宇航芯片的需求也将进入高速增长的机遇期。

据统计，2016 年我国卫星导航与位置服务产业总体产值已突破 2000 亿元大关，达到 2118 亿元，较 2015 年增长 22.06%。其中包括与卫星导航技术直接相关的芯片、器件、算法、软件、导航数据、终端设备等在内的产业核心产值达到 808 亿元。



图 7 中国卫星导航及位置服务产业规模（亿元）

《中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书(2019)》显示，2018年中国卫星导航与位置服务产业总体产值达 3016 亿元，较 2017 年增长 18.3%。与卫星导航技术研发和应用直接相关的，包括芯片、器件、算法、软件、导航数据、终端设备、基础设施等在内的产业核心产值达 1069 亿元，占总产值的 35.44%。

预计到 2024 年我国卫星导航产业规模将达到 4000 亿元，对于芯片、器件、终端设备的核心产值将达到 1600 亿元。芯片、模块等关键技术取得全面突破，性能指标与国际同类产品相当，宇航芯片对于产业的贡献率将进一步提升。

此外，半导体芯片在电子信息产业的比重，逐年提升，由 2016 年的 25% 提高到 2017 年的 28.1%，将会有更多的元器件，算法、模块被半导体芯片所取代或整合。对于航天领域来说，半导体芯片对于装备的重要性越来越大，预计到 2024 年，半导体价值量在整机中的占比将上升到 28.9%，提升空间广阔。

4、面临的问题及对策

随着国际环境的变化，中美贸易摩擦的不断升级，在关键核心元器件走自主可控的国产化的道路势在必行，将核心技术掌握在自己手中，才能做到不受制于人，对应宇航芯片更是如此。当然推进自主可控工作绝不是用国产芯片替代进口这么简单的问题，还涉及到软硬件生态系统、质量进度成本，以及管理规划标准等诸多方面，任何一个方面出现短板都很影响到整体自主可控的进程，经过我们充分的调研，认为在以下方面值得关注：

4.1 完善民用宇航芯片标准化体系

世界上航天大国为了保证元器件满足工程需求，都制定了元器件标准体系，其中美国航空航天局（NASA）和欧洲空间局（ESA）的元器件标准体系较为成熟，值得我们学习和借鉴。

NASA 能处于世界领先水平，是与严格控制元器件的选择和使用密不可分的。为保证航天工程成功地运行，NASA 对元器件保证有一整套控制措施。除了大量采用美军标（MIL）标准外，根据对航

天元器件的特殊需求，NASA 及下属的空间飞行中心还编制了各种元器件标准（规范）和指导性技术文件，供设计和采购人员使用。

ESA 是由欧洲地区的法国、德国等国家组成的地区性航天组织，为了协调各成员国对航天型号上元器件的质量保证，在 ESA 成立的初期就成立了空间元器件协调组（SCCG）协调各国之间元器件的选用，并制定以 ESA/SCC 为标志的各种元器件规范。

国外实践表明，不同于一般工程对芯片的需求，航天领域对芯片的需求具有其独特的方面，商业航天又有其自身的特点。所以目前的共识是标准化的芯片体系是支撑国家商业航天事业发展的重要基础，不可或缺。我国的商业航天事业近年来取得了举世瞩目的成就，对能够满足航天工程使用需要的高品质芯片的需求不断扩大。要彻底解决元器件依赖国外的困境，做到自主可控必须要建立一套完善的产品体系和标准体系，优选优用，严格按标准操作，满足不断发展的民用宇航芯片供应需求。

4.2 加速自主可控替代刻不容缓

随着中国商业航天事业的发展，航天产品任务数量增多，应用领域不断扩大。中美贸易战的不断升级，彰显了中国在战略性高新技术产业实现自主可控的重要性，加快国产替代刻不容缓。宇航芯片由于其重要战略地位，必须加大扶持力度，完善产业政策，加速国产化替代进程。宇航芯片是集成电路领域的尖端科技，需要人才、资金、政策的投入。从国外的经验来看，政府在战略发展方面的指导性政策、产业化的技术创新模式以及集成电路产业的发展是宇航芯片成功的必要条件。

随着国内研制单位的制造水平和工艺的不断提高，一些芯片或器件已经具备替代进口芯片的性能指标，但是由于新型的芯片或器件缺乏在航天产品的运行经历，缺乏足够的运行时间和测试条件。一旦出现问题缺乏经验参数，难以定位，给航天装备的研制进度和质量带来隐患。这就需要在完善的标准体系下，构建合理的符合航天要求的质量管控和可靠性评估测试体系。

5、总结与展望

航天领域是国家综合实力的重要体现，宇航芯片是这一领域的基础和支撑，其地位与航空发动机一样被誉为“工业皇冠上的明珠”。随着国际形势的变化，商业航天市场的发展，民用宇航芯片国产化的重要性日益凸显，是我国迈向商业航天强国的重要保障。民用宇航芯片的不断进步，说明我国由对国外的仿制阶段走向技术独立自主的阶段，是商业航天产业和集成电路产业共同繁荣的结果。同时，也应该清晰的认识到，民用宇航芯片的自主可控是一项长期、艰巨和复杂的工作，需要相关产业链的共同合作，构建完善强大的产业体系。

参考文献：

- [1] 盛靖，国内商业航天发展现状及未来展望，西部论丛，2019 年第 36 期。
- [2] 颜军. SPARC 嵌入式系统设计与开发-S698 系列处理器实用教程[M]. 北京：中国标准出版社，2013.
- [3] 张少林，杨孟飞，刘鸿瑾. 空间应用 SoC 研究现状简介[J]. 航天标准化，2012(2):14-20

-
- [4] 蒋彭龙, 刘亮亮. 基于 SOC 的航天系统集成设计技术研究[J]. 现代防防御技术, 2013, 41(1):42-46
- [5] SPARC International Inc. The SPARC Architecture Manual Version8. <http://www.sparc.com> 1992, 4-15
- [6] 国内首款抗辐射型高性能 32 位四核并行处理器问世. 电子工程世界, 2013 (11)
- [7] 北京微电子技术研究所. BM3803MG 32 位空间处理器用户手册[Z]. 2010
- [8] 北京控制工程研究所推出 SoC2012 芯片. 中国测控网, 2013(11)
- [9] 珠海欧比特控制工程股份有限公司. S698PM 用户手册[Z]. <http://www.myorbita.net/>宇航芯片/SOC
- [10] 罗雁横, 张瑞君. 空间辐射环境与光器件抗辐射加固技术进展. 电子与封装 2009, 09(8):43-47

作者: 郭华 珠海南方集成电路设计服务中心