

标题：芯片：随心组合

引言：未来的新品将由多个更小的单元构成

未来的芯片将由多个更小的单元构成。这些“小芯片”有望在生产中提升良率，并让系统配置更加灵活。汽车行业也可以从这一发展趋势中受益，因为高度自动化乃至自动驾驶功能需要既强大又灵活的解决方案。

在未来几十年里，半导体芯片上的晶体管数量将呈指数级增长——戈登·摩尔

（Gordon Moore）于 1965 年在《电子》杂志上发表了这一著名预测，称为摩尔定律。他后来成为了英特尔公司的联合创始人。不过，人们对他同一篇文章中另一句话的关注要少得多：“通过单独封装、彼此互联的较小功能建立大型系统可能更为经济。”现在，这一想法受到了世界各地研究人员和半导体制造商的大力推崇。他们希望将日益复杂的芯片中的众多功能分配给较小的集成电路

（IC），并将众多集成电路联接成网络，合力实现预期功能。专家们将这种微型集成电路命名为“小芯片”（Chiplet），它们可以像积木一样搭接起来，构成完整系统。它们可以接管完整系统的各项子功能，例如作为中央处理器

（CPU）、图形处理器（GPU）、存储器、与外界的数字接口，或者 Wi-Fi 发射器和接收器。

芯片尺寸的趋势反转

直到最近为止，芯片的发展趋势一直与此完全相反：过去几十年来，半导体制造商在一块半导体晶片（“裸片”）上集成了越来越多的功能，形成了高度复杂

的片上系统（SoC）——正是摩尔定律使之成为可能。然而，这一增长趋势现在已接近极限，因为随着芯片面积的增加，出现缺陷的概率也在提高，从而导致合格芯片的产量（“良率”）急剧下降。因此，生产规模极大的 SoC 难以保证经济效益，如果采用投资成本巨大、良率本身就较低的最新制造过程就更是如此。

“业界在大约 15 年前就开始寻找新的方法。近几年来，小芯片话题备受关注和热议，因为小芯片互联所需的技术已经出现，也因为半导体制造商在废品成本方面已经达到了可接受的极限。”

弗劳恩霍夫可靠性和微集成研究所（IZM）

晶圆级系统集成部门主管

迈克尔·席弗博士

小芯片是一种很有希望的解决方案：如果将一个 SoC 的功能分配到较小的单元上，就能让 IC 的良率重新开始提升。

除此之外，小芯片还有许多其他优势。如果每个小芯片专门负责一项单一的功能，就可以采用最合适的技术来生产：例如，对于强大的 CPU 和 GPU 芯片来说，可以采用最先进的制造过程和最小的晶体管，而用于数字接口的简单芯片则可以采用较老但更便宜的制造过程来生产。这也适用于所使用的原材料：硅

适合制造 CPU 和 GPU 裸片，砷化镓、锗硅或碳化硅是高频芯片和功率芯片的理想之选，磷化铟则是光电元件的最佳选择。席弗博士说：“这可以最大限度地提高单个小芯片的性能和效率。”

然而，这些专用微型芯片必须彼此互联，才能形成完整系统。这通常就需要将小芯片放置在“硅中介层”上来实现互联。硅中介层可以是一块薄薄的硅板，其中只有铜线，以实现芯片间的电气连接。或者，硅中介层本身就包含一套电路，可以主动传递小芯片的信号，从而大大减少延迟时间。“不过，也可以考虑采用玻璃或有机物质作为中介层材料，其中玻璃比较适合高频应用。但它们在结构尺寸方面无法与硅中介层相提并论。”席弗解释说。

不过，只有当可以轻松地将不同制造商的多个组件组合成一套完整的系统时，小芯片的构想才能充分发挥其优势。未来，“通用小芯片高速互连”（UCIe）通信标准有望实现这一愿景。这一标准与“外围组件高速互连”（PCIe）标准相似，如今后者已是各种外围设备（例如硬盘或显卡）与 PC 中的处理器芯片组互联的基础。UCIe 得到了众多芯片开发商和 IT 公司的支持，比如 AMD、ARM、英特尔、谷歌云、Meta、微软、高通和三星，以及全球最大的半导体合同制造商台积电。除此之外，开放计算项目（OPC）也提出了“电线束”（Bunch of Wires，简称 BoW）标准。OPC 的成员包括谷歌、Meta 和微软等大数据中心运营商。

适用于车辆的小芯片标准

“这两种标准都是为交换非常大量的数据而设计的。”德累斯顿弗劳恩霍夫集成电路研究所（IIS）系统集成组的组长安迪·海尼希（Andy Heinig）说，“然而，对于汽车应用来说，业界还需要额外的模拟接口，才能例如采用不同的小芯片组装成一个雷达。”IIS 的研究人员与整车制造商和供应商携手合作，希望开发一套为汽车量身定制的标准。

尽管暂时缺乏统一标准，但海尼希确信，芯片将在未来的车辆中发挥重要作用：“对于对计算能力要求极高的自动驾驶来说尤其如此，不过具体需求在很大程度上取决于希望达到的自动化水平。未来，原始设备制造商可以采用小芯片方案，为个别车型或不同配置的车型配置最理想的电子元器件。”这种可扩展的模块化系统也与汽车制造的平台理念完美契合。

“汽车应用还需要额外的模拟接口。”

弗劳恩霍夫集成电路研究所系统集成组组长

安迪·海尼希

不来梅大学通信电子组的组长史蒂芬·保罗（Stefen Paul）教授正与工业和学术项目伙伴密切合作，研究这种基于小芯片的车辆系统的前景。他也强调说：“采用小芯片可以让系统配置灵活地适应车辆需求。”他的团队以一套用于自动驾驶

的 77 GHz 雷达为例充分展示了这一点。模拟部分被分为多个小芯片（振荡器和发射器/接收器），安置在硅中介层上。根据所需的天线数量，系统中集成了两个或四个发射器/接收器小芯片。用于信号处理的数字部分可由多达 8 个小芯片组成，具体取决于所用评估算法的复杂程度。

除了通过不同计算模块的组合获得更大的灵活性之外，保罗还看到了小芯片方案的另一大优势：更好地保护知识产权。他解释说：“将功能划分为较小的单元，可以让竞争对手更难推测出整套系统的运作方式。此外，还可以在一个小芯片上单独开发加密等关键功能，也就是将开发工作限制在一个高度安全的部分，完全独立于其他逻辑的开发工作。”

未来的关键要素

技术咨询公司 Yole Intelligence 计算和软件首席分析师汤姆·哈肯伯格（Tom Hackenberg）表示：“目前，小芯片主要用于数据中心、移动设备、网络和存储器等市场。然而，随着强大的异构处理器逐渐开始应用于驾驶辅助系统，小芯片也成为了未来汽车电子系统的关键要素之一。因此，许多汽车芯片制造商大力支持小芯片标准化进程。”这样一来，摩尔定律很可能会再次生效。