



动产业链

“卖铲人”戏份足 韬定律催生半导体设备新需求

记者 时娜 李兴彩

在全球半导体产业面临物理极限与高昂成本的双重挑战之际,华为给出了全新的解题思路——韬(τ)定律(下称“韬定律”),不再死磕晶体管的物理尺寸,而是通过器件、电路、芯片到系统层面的多层级协同优化,系统性降低时间常数(τ)来提升晶体管密度,实现半导体与电子系统的持续演进。接受上海证券报记者采访的产业链及投资界人士普遍认为,从中长期来看,韬定律催生半导体设备新需求,“卖铲人”将迎来新机遇。

“韬定律的核心创新点在于,跳出摩尔定律以平面尺寸微缩为核心的话语体系,转而以时间维度作为性能提升的衡量标尺。这既是华为基于自身技术实践对行业趋势的系统性总结,也为后摩尔时代半导体产业演进提供了方向指引。”国内某半导体设备龙头企业高管表示,晶体管尺寸已逐步逼近物理极限,全球芯片行业向3D立体堆叠、异构集成方向演进。韬定律的提出,进一步明确并强化了这一路线,推动全行业围绕这一方向开展技术布局与工艺适配,也将引导产业资源向这一方向倾斜。一方面,这会直接提升晶圆使用量,另一方面,也对工艺制程提出更多新要求,将对国内半导体设备需求带来中长期拉动。

“韬定律,实际上就是通过器件、电路、芯片、系统的优化,并采用先进封装等技术手段降低信号传输延迟(时间常数τ),而非单纯依赖晶体管尺寸缩小。这给键合设备、超声波检测设备带来新的市场机遇。”上海优睿半导体设备有限公司总经理唐德明表示。

唐德明表示,华为提出的晶体管堆叠理念和工艺,已被业界应用于HBM、CoWoS封装等领域,即2.5D/3D封装工艺。在该封装工艺下,两片或多片晶圆/芯片在小于1微米的间距下表面“贴合”到一起,还要保证超高的带宽、超低的功耗、超强的散热,就意味着不能继续使用传统的微凸点和焊料,而是让铜原子加热后直接融合,只有混合键合设备和工艺才能做到。C-SAM/SAT超声波扫描显微镜(即超声波检测设备)则可以给AI芯片做多层堆叠/异质集成内的“CT”,找出X射线看不到的界面分层、微空洞、微凸点虚焊、TSV填充缺陷等问题,从而确保芯片的性能和良率。

“摩尔定律离不开原子级制造工艺设备,韬定律离不开三维堆叠工艺设备。”拓荆科技董事长吕光泉在朋友圈如是写道。

拓荆科技在2025年年报中表示,三维集成是实现芯片高密度互连、三维堆叠及系统级集成的关键制造环节。先进键合设备主要应用于芯片或晶圆堆叠,通过对芯片或晶圆进行等离子活化、清洗、对准、键合、量测等一系列工艺处理和精准控制,实现芯片或晶圆的垂直堆叠架构,可有效提升芯片间的通信带宽及芯片系统性能,键合精度可达百纳米级,是三维集成领域中最重要的一环。目前,拓荆科技已成功研发并推出了应用于三维集成领域的先进键合设备(包括混合键合、熔融键合设备),以及配套使用的量检测设备。

基石资本合伙人杨胜君认为,韬定律下,芯片工艺制程正朝着更高性能要求演进,这一方面提升了芯片设计的技术门槛,另一方面也为制造、封装领域带来新要求,设备和材料行业迎来新的投资机会。

“韬定律是行业共识形成的催化剂。”一家专门投资半导体产业链的风投企业合伙人表示,“帮助韬定律落地的工具层公司都值得关注,EDA(电子设计自动化)、半导体设备、先进封装三个环节都是韬定律路径上不可绕开的‘卖铲人’。其中,半导体设备是国产化率相对较低的环节,这也意味着确定性增长空间更大。”

跨层协同优化 韬定律给系统级EDA带来历史性机遇

记者 李兴彩

“华为这篇论文,最重要的观点是:每一代制程工艺真正交付的是‘对时间的压缩’,即空间尺寸缩减(先进制程下晶体管间距缩小)只是手段,而压缩信号传播的时间(减小延迟)才是目的。”就华为公司董事、半导体业务部总裁何庭波在署名论文中提出韬(τ)定律(下称“韬定律”)的意义,芯和半导体创始人、总裁代文亮在接受上海证券报记者采访时表示,华为将“时间常数τ”作为优化目标,这一框架首次让工艺工程师、电路设计师、架构师、系统工程师等可以围绕同一个量、用同一套单位展开协同优化。

多位业内人士的看法是,韬定律的发布,为半导体产业明确了一件事:下一个10年,竞争的胜负手不在单芯片节点上,而是在封装、存储带宽、互连和系统设计,以及支撑这一切的系统级EDA(电子设计自动化)工具链上。

论文显示,在技术路线上,华为采用Chiplet(芯粒)先进封装、三维集成电路(3DIC)、逻辑折叠(Logic Folding)三条技术路线叠加共存方式,在垂直集成上实现不同粒度的重组优化。而到2035年实现硬件集成度提升超过100倍,面临的三大挑战分别为:EDA工具链断层、跨晶圆工艺偏差、能量守恒法则。

“这种叠加带来的根本性设计工程挑战,是传统以单芯片为边界的EDA工具链无法胜任的,也是STCO(系统技术协同优化)系统级EDA得以提出、发展的核心缘由。”对于华为将EDA工具链的缺口视为韬定律落地的最大工程障碍,代文亮表示,当一个封装体同时涉及芯粒间互连、3D层间混合键合和片内逻辑折叠时,信号完整性、电源完整性、热分布与机械应力的分析边界已无法在任何单一层级上实现单独闭合;混合键合界面的寄生电容与电阻组合(RC)需要与布线段RC联合标注才能准确预测延迟;Chiplet间的大电流切换在封装板上耦合为电源噪声,影响相邻裸片时序。这些问题相互缠绕,必须在“芯片—封装”联合建模的统一视角下求解,即构建以系统技术协同优化(STCO)为核心的系统级EDA平台。

在代文亮看来,除了芯片端,AI算力时代,韬定律在落地时遇到的另外一大挑战是:超节点(SuperNode)下的STCO多物理场协同挑战,这恰好也是当前系统级EDA面临的最复杂设计课题之一。

华为认为,大规模AI智算集群下,系统规模从单芯片扩展到数千万颗芯片,此时减少数据传输中时间的重要性,已彻底超越减少计算本身的时间,并提出三层协同应对:统一总线(Unified Bus)、近封装引擎(Hi-ONE)、3D Folding(折叠)。

代文亮表示,大型AI智算集群超过80%的能耗来自数据搬运而非计算本身,超过70%系统成本来自数据搬运,传统多协议栈带来大量协议转换与握手开销。如此,光有芯片算力的堆叠还不够,互连延迟、供电响应、散热约束三者共同构成系统τ的下界,任何一项短板都会成为全局瓶颈。

韬定律描述了一个宏大的技术方向,但谁来提供实现τ跨层协同优化的设计工具?事实上,国际EDA三大巨头(新思科技、楷登电子、西门子EDA)都已意识到STCO发展趋势及这一结构性的机遇,并将其作为战略重心。为此,新思科技以350亿美元收购了全球最大的仿真分析公司Ansys,西门子EDA收购了Altair。

记者注意到,芯和半导体的STCO(系统技术协同优化)理念及三大平台(3DIC Chiplet先进封装仿真平台、封装PCB板级全流程设计平台、集成整机系统仿真平台),正是针对韬定律需求构建的,其产品将仿真范围从2D单芯片扩展到2.5D/3D Chiplet先进封装、板级乃至整机;分析维度从单物理场升级为电、热、力、电磁多物理场耦合;工作介入点从事后验证前移至架构探索阶段;产品形态从离散工具集合演变为统一的系统级设计平台。

晋升关键环节 韬定律引燃先进封装三大方向机会

记者 刘逸鹏

5月26日,A股先进封装概念延续强势,长电科技、华天科技实现2连板,通富微电一度触及涨停,再砂电子等多股涨幅超10%。

先进封装板块的大涨,与华为发表韬(τ)定律(下称“韬定律”)密不可分。韬定律为何凸显了先进封装的价值?

传统封装,可以理解为“给单颗芯片穿衣服、接电线”;先进封装,则是“把多颗不同芯片像积木一样拼成一个紧贴的系统”,核心在于整合,而非仅仅是保护。

正是先进封装这种“高级性”,契合了韬定律的核心要义。芯朋微董事长张立新对上海证券报记者表示,韬定律是从系统集成的角度提出的。“逻辑折叠、软硬件协同、系统优化这些都是为了优化信号传递效率,先进封装是有助于实现这个目的的物理手段之一。”

有封装技术专家解释称,先进封装通过2.5D/3D集成、混合键合、Chiplet、HBM、光电共封装等方式,把计算、存储和互连拉得更近,降低RC延迟,提升带宽,减少功耗,从而直接压缩时间常数(τ)。

“过去,封装更多被视为芯片制造的后端环节,主要承担芯片保护、电气连接和规模化交付功能。但在AI计算、高性能存储、智能终端和汽车电子快速发展的背景下,封装已直接影响系统性能、功耗、带宽、尺寸、散热和可靠性。未来,芯片竞争不会只看制程节点,也会越来越看重封装互连效率、系统架构协同和量产工程能力。”深圳君子乾乾投资董事长程成说。此前,国内先进封装龙头企业纷纷加码扩产。

国内封测龙头长电科技近期表示,将2026年固定资产投资预算上调至约100亿元,同比提升近18%。拟重点投向AI算力、汽车电子、HBM存储等赛道的先进封装产线建设。

4月9日,通富微电公告称,公司向特定对象发行股票的募集资金总额不超过42.2亿元,扣除发行费用后拟全部用于存储芯片封装产能提升项目、汽车等新兴应用领域封装产能提升项目、晶圆级封装产能提升项目、高性能计算及通信领域封装产能提升项目、补充流动资金及偿还银行贷款。

5月26日,深科技公告称,公司全资子公司深圳沛顿及控股子公司合肥沛顿存储拟实施高端存储芯片封装产能扩充项目,计划总投资14.7亿元,用于购置高端芯片测试机、高精度晶圆研磨一体机等设备、厂房装修及配套动力设施等。

“未来先进封装的机会或将集中在三个方向:一是AI端侧设备,包括AI手机、AI PC、AI眼镜、智能穿戴等,这些产品对小尺寸、低功耗、高带宽存储提出了更高要求;二是高性能计算和数据中心场景,对高带宽存储、低延迟互连和高可靠封装的需求会持续提升;三是智能汽车、机器人和工业终端等场景,这些应用既需要较强的本地计算与存储能力,也需要长期稳定性和高可靠性。在这些场景中,存储、计算和数据搬运效率会共同决定系统体验,先进封装也将由单点工艺能力升级为平台型协同能力。”前述封测技术专家说。

产业迎来重构 韬定律推动大规模AI算力集群商用

记者 宋薇萍

韬(τ)定律(下称“韬定律”)的横空出世,不仅为半导体产业开辟了先进制程受限条件下的性能提升新路径,也为算力产业打开了全新的想象空间。多位专家对上海证券报记者表示,韬定律或将重构AI算力产业,华为大规模AI算力集群商用有望“提速”。

AI算力行业人士郑鸿飞表示,依托完备成熟的AI硬件全产业链配套体系,叠加韬定律带来的行业技术演进红利,未来2到3年,我国有望在大规模AI算力集群商用落地领域实现快速追赶并完成局部反超,走出一条以工程化深度优化、异构芯片堆叠集成、产业成本优势为核心的路径。

“随着群体性量持续扩容,行业发展核心瓶颈已从单纯的算力规模不足,转向全域数据通信瓶颈。这一通信制约贯穿算力全层级链路:微观层面凸显芯片内部电路走线带来的信号传输时延与功耗损耗;中观层面来自多颗算力芯片之间的互连通道带宽受限、交互时延偏高;宏观层面受制于整机服务器与大规模算力集群跨节点组网的通信带宽拥挤、同步调度损耗。”郑鸿飞说。

在郑鸿飞看来,依托韬定律构建的全新技术发展逻辑,高密度万卡、10万卡级国产算力集群规模化稳定落地具备坚实的可行性。国内AI产业可逐步降低对高端EUV先进制程的路径依赖,加快构建国产算力芯片、核心生产设备、通用大模型协同联动的全链路产业生态闭环,有效压降AI模型商用推理综合成本,持续夯实AI产业数字化转型根基,进而形成具备全球竞争力的低成本AI产业输出优势。

优刻得董事长兼CEO季昕华表示,韬定律的提出,对整个芯片产业的发展非常有利。韬(τ)缩放不只是芯片的故事,AI数据中心是其另一个战场。

“有一组数据让我印象深刻:大型AI集群超过80%的能量用于数据搬运,超过70%的系统成本分配给数据存储。计算本身不是瓶颈,数据搬运才是。”季昕华认为,华为的应对是统一总线(UB)、Hi-ONE光互连、3D折叠。

韬定律对算力产业意味着什么?季昕华认为:

第一,封装和互连的战略地位急剧上升。华为公司董事、半导体业务部总裁何庭波在论文中表示:“竞争性不再需要永远驻留在光刻前沿,封装、存储带宽和互连设计具备了此前只有先进逻辑节点才拥有的战略分量。”

第二,逻辑和存储正在走向再融合。在AI时代,HBM、混合键合、3D堆叠SRAM,都是逻辑与存储被重新驱动向紧密物理集成的表现。

第三,这对国内芯片产业是一个重大利好。韬缩放的核心信息是:不需要最先进的光刻机,也可以在性能上持续进步。通过封装创新、互联优化、架构设计,固定节点下的芯片也能实现跨代级别的提升。这给了国内芯片企业一条明确的技术路径。

绕开工艺依赖 晶圆代工厂在韬定律下“放开手脚”

记者 郑维汉

5月25日,华为公司提出韬(τ)定律(下称“韬定律”),作为半导体与电子系统演进的新指导原则。业内人士认为,晶圆代工厂将在韬定律的催化下迎来利好。

韬定律的核心主张为,以“时间缩放”替代“几何缩放”,通过“逻辑折叠”等技术构建器件、电路、芯片、系统四层级协同优化体系,从而大幅提升相关性能。预计到2031年,基于该定律的高端芯片晶体管密度可达到等效1.4nm制程水平。

有专家称,韬定律不仅“解绑”了制程与性能的强相关性,更部分破解了业界面临的“先进制程迭代困境”,在某种程度上完成了对摩尔定律的超越。

这也意味着,没有最先进的极紫外光刻机,一样可以生产高性能芯片。在工艺层面,采用14/7nm工艺的芯片或可通过设计优化,达到接近5/3nm工艺节点的性能;产能层面,韬定律可作为先进工艺良率与产能突破的可能解决路径,利好晶圆代工厂的未来发展。

快思慢想研究院院长田丰介绍,芯片行业已进入“后摩尔时代”,制程升级放缓,且代价高昂。具体而言,从28nm节点之后,晶体管的物理尺寸缩小难度极大。“7nm、5nm、3nm等先进工艺,不再是物理意义上的栅极线宽。行业通过架构创新结合工艺打磨,来对标各节点预设的能效与性能目标,但这种模式的性能提升节奏正不断放缓。”田丰说。

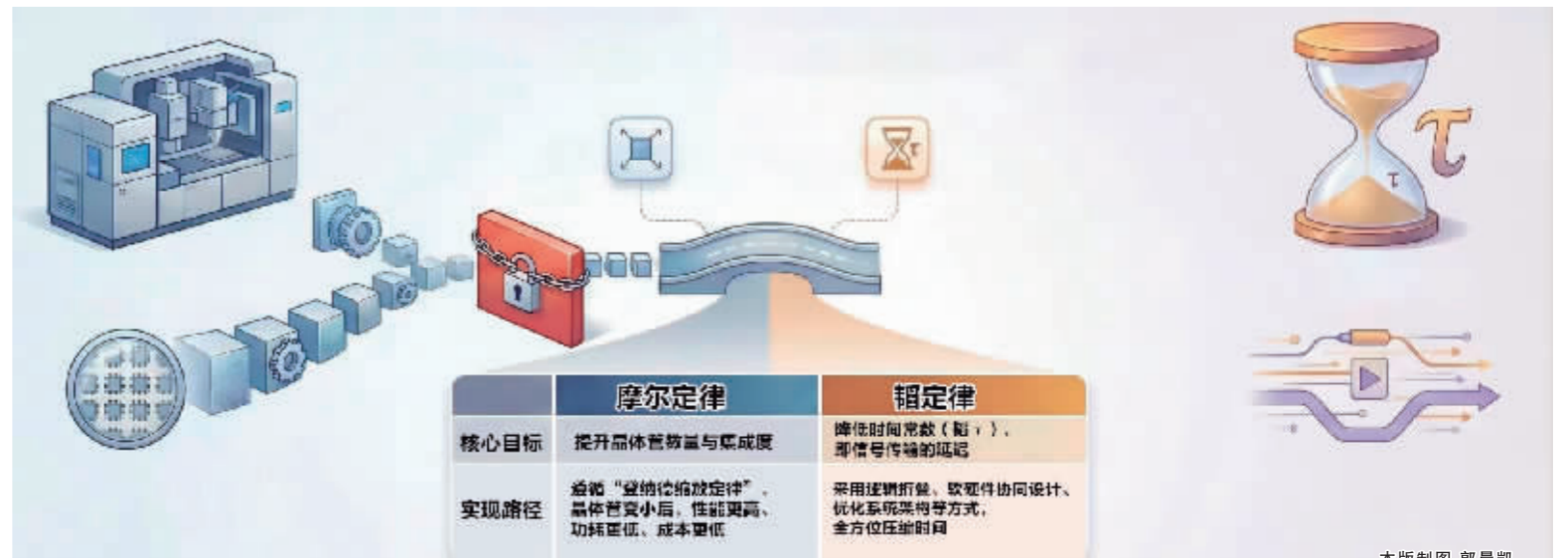
在成本上,芯片制造费用的上涨速度已超过仅靠密度缩放带来的经济效益。台积电2nm晶圆成本已飙升至新的历史高点,达到3万美金甚至更高;3nm制程300毫米晶圆成本亦达到2万美元。

韬定律则通过逻辑折叠绕开了晶体管密度对工艺的依赖,通过优化时延的方式达到先进工艺的等效性能。“在传统平面布局下,随着功能密度增加,关键路径走线长度线性增长,时延随之恶化。逻辑折叠的工程逻辑在于,通过三维方向的电路重新布局,将原本在平面上需要长距离连接的逻辑单元在空间上折叠靠近,物理缩短走线长度,从而在不改变晶体管物理尺寸的前提下压缩时延。”田丰表示。

随着AI、高性能计算等对先进工艺逻辑芯片的需求走强,晶圆代工厂将在韬定律的催化下迎来利好。

中芯国际近日表示,结合当前形势,在供不应求的产品类别,公司与客户协商上调定价,涨价效应逐步显现;加之部分客户顾虑后续外部环境不确定性可能带来供应不足或继续推高供应链价格,使公司在手订单充足。公司预计,2026年二季度,公司出货量和平均销售单价均有明显提升,收入环比增长14%至16%;毛利率为20%至22%,与上一季度指引相比提高2个百分点。

华虹公司2026年一季度12英寸产品产能爬坡稳步推进,收入占比已提升至62.7%。公司预计2026年二季度销售收入为6.9亿美元至7亿美元,毛利率为14%至16%。



本版制图 郭展凯