

卧薪尝胆—— 华为 5G 手机“卡脖子” 技术十大突破

科技创新情报研究系列



2023 年 9 月

前言

美国出于中美科技竞争战略、全球科技霸权的考虑，从 2019 年 5 月开始对中国华为公司采取了一系列技术禁运措施。这家在全球 5G 领域拥有最先进技术的科技公司，居然因美国的制裁而生产不出自己的 5G 手机，该情况令世人唏嘘。今年 8 月 29 日，华为突然重新推出 Mate 60 Pro 5G 手机（多家机构测试，其性能达到 5G 手机标准），该进展让科技界震撼，让国人振奋，让制裁者错愕。

我国手机厂商（包括华为）生产不出技术完全自主的 5G 手机，主要是在芯片设计软件电子设计自动化（EDA）、芯片 IP、EUV 光刻机、高端刻蚀机、薄膜沉积设备，以及射频前端模块滤波器等关键技术上被人“卡脖子”。作为中国在 5G 领域最先进的科技公司，华为必须亲力亲为，方能突破这些“卡脖子”技术。那么，3 年多来，卧薪尝胆的华为在上述技术领域到底有哪些突破？本报告通过检索华为发明专利，一一梳理和分析华为的进展。

目 录

前言	II
一、EDA	1
突破 1：确定晶体管寄生电容网络，显著提高布局寄生参数提取效率	1
突破 2：研发可用于 EDA 软件中的对芯片电路进行测试的方法	2
二、芯片 IP	3
突破 3：不同芯片架构计算节点所组成的集群可高效运行可执行代码	3
突破 4：程序性能预测的神经网络的训练方法和基于指令集的程序性能预测	4
三、光刻机	5
突破 5：解决相干光因形成固定的干涉图样而无法匀光的问题	5
突破 6：按照掩膜版的掩膜图形进行光投影方式的无损光刻	6
四、刻蚀机	7
突破 7：光波导结构的刻蚀方法提升芯片的通信性能	7
突破 8：掌握金刚石薄膜刻蚀方法，提高芯片刻蚀加工效率	8
五、薄膜沉积	9
突破 9：行星盘结构及蒸镀设备提高金属膜厚度均匀性和生产力	9
六、滤波器（BAW）	10
突破 10：可调谐滤波器和可调谐滤波装置解决滤波效果较差的问题	10
七、结论	11
1.华为将带动我国实现“卡脖子”技术的“多点突破”过渡到“全面突破”	11
2.华为的技术突破充分说明美国对华“技术封锁”效用的短暂性	11
3.华为助推中国大陆 5G 芯片的进步给台积电的战略价值造成重大打击	11
法律声明	13

一、EDA

EDA 是电子设计自动化 (Electronic Design Automation) 软件，是指利用计算机辅助设计软件辅助完成超大规模集成电路芯片的设计、制造、封装、测试整个生产流程。因为芯片设计的复杂程度越来越高，所以必须借助 EDA 才能完成芯片设计。目前我国国内 EDA 市场非常垄断，前三大企业——Synopsys、Cadence 和 Mentor 市场份额占 95%，且均为美国公司。国内 EDA 企业只是在 EDA 工具链条中的某些环节较强，与美国三巨头的全覆盖能力相比存在很大差距。

突破 1：确定晶体管寄生电容网络，显著提高布局寄生参数提取效率

- **技术介绍：**研发出一种用于 EDA 的方法和装置，其基于包括晶体管但不包括冗余晶体管的布局数据库，查询寄生电容数据库，以获得晶体管与对应于该晶体管的虚拟冗余晶体管之间的耦合电容。基于晶体管和虚拟冗余晶体管之间的耦合电容器，可以确定晶体管的寄生电容网络，然后生成表示电路设计的网表。
- **技术功效：**以上技术发明可以显著提高布局寄生参数提取的效率。
- **专利申请：**该技术已申请国际专利，专利名称为“用于电子设计自动化的方法和设备”，申请日为 2021 年 9 月 3 日，公开号为 WO2023029007A1；专利权人为华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为孙立杰、万光星、黄威森、余华涛。

突破 2：研发可用于 EDA 软件中的对芯片电路进行测试的方法

- **技术介绍：**研发出一种芯片测试电路及电路测试方法，可用于 EDA 软件中对芯片电路进行测试，用于解决目前的测试方案中的绕线拥塞和测试配置复杂的问题。该测试电路将测试向量的输入数据通过测试总线的输入传输至数据分发电路中，通过数据分发电路传输至被测电路的扫描输入通道，被测电路扫描结束后，被测电路的扫描输出通道的测试向量的输出数据通过数据分发电路传输至测试总线的输出完成被测电路的测试，通过对第一选择器的配置实现数据分发电路与测试总线的动态对应关系。
- **技术功效：**该技术使得测试资源能够得以动态分配，极大程度地优化了绕线拥塞的问题，以便降低测试成本，并且可以简化配置过程，从而提高测试效率。
- **专利申请：**该技术已申请国际专利，专利名称为“芯片测试电路及电路测试方法”，申请日为 2020 年 8 月 31 日，公开号为 EP4194865A1；专利权人为华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为崔昌明、黄俊林、黄宇、付海涛。

二、芯片 IP

芯片 IP（Intellectual Property，知识产权）是指芯片设计中预先设计、经过重复验证好的功能模块，它处于半导体产业链上游，为芯片设计厂商提供设计模块。芯片 IP 与 EDA 结合可以缩短芯片设计周期、降低开发成本。目前全球两种主流芯片 IP 为美企英特尔 X86（基本不对外授权）和英企 ARM。当前中国国内芯片 IP 市场中，国产厂商份额仅占 5%，芯片 IP 高度依赖进口。目前，ARM 已基本不对中国厂商授权最新的指令集了。

突破 3：不同芯片架构计算节点所组成的集群可高效运行可执行代码

- **技术介绍：**研发一种在异构集群中的任务调度方法、装置及系统。在该方案中，目标计算节点能够获取到目标任务的中间表示和运行时插件。由于该中间表示是与处理器的芯片架构无关的代码，因此目标计算节点可以通过运行时插件将该中间表示编译为目标芯片架构的可执行代码，并在目标芯片架构的处理器中运行该可执行代码。相应的，异构集群中的调度器在调度目标任务时，不会受到该目标任务中已编译的可执行代码的架构的限制，而是可以基于异构集群中各计算节点的资源使用情况，灵活地确定用于执行该目标任务的计算节点。
- **技术功效：**该技术可以确保各计算节点的负载较为均衡，有效提高异构集群的资源利用率。
- **专利申请：**该技术已申请国际专利，专利名称为“任务调度方法、装置及系统”，申请日为 2021 年 2 月 7 日，公开号为 CN114911586A；专利权人为华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为苏磊、孙宏伟、贺波。

突破 4：程序性能预测的神经网络的训练方法和基于指令集的程序性能预测

- **技术介绍：**研发用于程序性能预测的神经网络的训练方法和基于指令集的程序性能预测方法。该用于程序性能预测的神经网络的训练方法包括：对指令集中的指令进行预处理；通过词嵌入将预处理后的指令转换为指令的向量表示，进而汇集指令的向量表示来得到与所述指令集对应的输入向量，以作为神经网络的输入；将所述输入向量和至少一部分体系结构参数输入代表程序的神经网络，神经网络的输出为表示程序性能的训练性能分数；以及，使用所述训练性能分数和真实训练分数之间的损失函数更新所述神经网络的参数。
- **技术功效：**可以预测包括尚未被模拟器支持的全新指令的不同指令集和体系结构参数对程序性能的影响，从而指导指令扩展以及 DSA 设计。
- **专利申请：**该技术已在国内申请专利，专利名称为“程序性能预测方法、神经网络训练方法及应用”，申请日为 2021 年 9 月 23 日，公开号为 CN113868108A；专利权人为清华大学和华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为武永卫、李泽清、张悠慧、许珂、吴小文。

三、光刻机

光刻是对晶圆表面的掩蔽物（如二氧化硅）进行开孔，以便进行杂质的定域扩散。光刻机是半导体产业链中最精密的设备，也是制造芯片的核心装备，被称为“半导体工业皇冠上的明珠”。目前，荷兰阿斯麦、日本尼康和佳能占据了全球主要市场。其中，阿斯麦是全球唯一能生产极紫外线（EUV）光刻机的厂商，这种光刻机可实现 7 纳米甚至 5 纳米工艺。因迫于美国的压力，目前阿斯麦的 EUV 光刻机对我国全面禁售。

突破 5：解决相干光因形成固定的干涉图样而无法匀光的问题

- **技术介绍：**研发一种反射镜、光刻装置及其控制方法，涉及光学领域，能够解决相干光因形成固定的干涉图样而无法匀光的问题；该反射镜的反射面包括多个微反射面；多个微反射面中包括第一微反射面以及与第一微反射面相邻的第二微反射面；第一微反射面与第二微反射面之间具有高度差 Δh ，高度差 Δh 位于 $(0, k\lambda]$ 的区间内；其中， λ 为极紫外光的波长； k 为大于或等于 1 的正整数。
- **技术功效：**该方法便能够解决相干光因形成固定的干涉图样而无法匀光的问题，在极紫外光的光刻装置基础上进行了优化，进而达到匀光的目的。
- **专利申请：**该技术已在国内申请专利，专利名称为“反射镜、光刻装置及其控制方法”，申请日为 2021 年 5 月 13 日，公开号为 CN115343915A；专利权人为华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员为刘晟。

突破 6：按照掩膜版的掩膜图形进行光投影方式的无损光刻

- **技术介绍：**研发一种光刻装置及光刻方法，能够按照掩膜版的掩膜图形进行光投影方式的无损光刻；该光刻装置包括真空生长室、掩膜板、光路系统、光源；光源、掩膜板、光路系统均位于真空生长室的外部；光源发出的光线经掩膜板和光路系统后，在真空生长室内形成光投影图案，以通过光投影图案对形成在衬底表面的材料进行光刻；光投影图案的形状与掩膜板的掩膜图案的形状一致。
- **技术功效：**在真空生长室内通过光投影图案的高能区诱导形成在衬底表面的材料进行脱附和/或迁移，而保留位于非高能区的材料，从而形成所需的膜层图案来进行光刻图形化；从而可以不采用外来化学刻蚀材料，因此不会带来外来化学物质的污染和晶格损伤，并且采用能够根据实际的膜层图案需要，通过掩膜版形成与掩膜图案一致的光投影图案，能够满足制作任意图案膜层的需求。
- **专利申请：**该技术已在国内申请专利，专利名称为“光刻装置及光刻方法”，申请日为 2022 年 12 月 25 日，公开号为 CN114690569A；专利权人为华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为彭长四、刘晟、高雅琨、石震武。

四、刻蚀机

刻蚀是在光刻完成之后，利用化学溶液或等离子体将没有被光刻机保护的部分进行物理或化学的去除。在全球刻蚀机设备市场，美国泛林半导体、日本东京电子、美国应用材料三巨头占据 90% 以上的市场份额。在国内市场，中国企业占据中低市场，而高端市场仍依赖进口。

突破 7：光波导结构的刻蚀方法提升芯片的通信性能

- **技术介绍：**研发一种芯片中光波导结构的刻蚀方法，所述方法用于绝缘体上硅衬底 SOI，所述 SOI 包括基底层、氧化掩埋层和单晶硅层，包括：根据第一图形，刻蚀所述单晶硅层，形成第一光波导结构；根据第二图形，刻蚀所述第一光波导结构形成第二光波导结构，其中所述第二图形的斜边与所述第一图形的斜边平行。

S401，根据第一图形，刻蚀单晶硅层，形成第一光波导结构

S402，根据第二图形，刻蚀第一光波导结构，形成第二光波导结构，其中第二图形的斜边与第二图形的斜边平行

- **技术功效：**能够避免硅残留问题导致的不必要散射和衍射，提升芯片的通信性能。
- **专利申请：**该技术已申请国际专利，专利名称为“一种芯片中光波导结构的刻蚀方法、芯片以及光通信设备”，申请日为 2021 年 11 月 23 日，公开号为 WO2023092291A1；专利权人为华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为袁俊、张艳武、李世梁、马庆艳、江先鑫、杨莉。

突破 8：掌握金刚石薄膜刻蚀方法，提高芯片刻蚀加工效率

- **技术介绍：**为了解决对金刚石薄膜的加工效率较低的问题，研发出一种金刚石薄膜加工的方法和三维集成电路。该方法包括：对金刚石薄膜的第一表面的目标区域进行热改性处理，将所述目标区域中的金刚石改性为不稳定态的碳；对所述金刚石薄膜的第一表面的目标区域进行刻蚀处理，去除所述不稳定态的碳；重复交替进行对所述目标区域的所述热改性处理和所述刻蚀处理，直到满足预设的结束条件。
- **技术功效：**相对于刻蚀处理的时长来说，热改性处理的时长是非常短的，基本可以忽略不计，另外，因为不稳定态的碳相对于金刚石来说化学稳定性差很多，所以相对于刻蚀金刚石的速度，刻蚀不稳定态的碳的速度快很多，因此，通过上述方式可以提升对金刚石薄膜的加工效率。
- **专利申请：**该技术已在国内申请专利，专利名称为“金刚石薄膜加工的方法和三维集成电路”，申请日为 2020 年 11 月 9 日，公开号为 CN114464525A；专利权人为华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为王俊友、魏潇赟、杨勇、张彦平、张立平、邓抄军、崔晓娟。

五、薄膜沉积

薄膜沉积是指在半导体衬底上淀积一层薄膜材料的过程。薄膜沉积工艺可以分为物理气相沉积（PVD）、化学气相沉积（CVD）和原子层沉积（ALD）三大类。在 ALD、CVD 设备供应领域，东京电子、泛林半导体、先域等外企长期占据压倒性地位。我国整个薄膜沉积设备领域需求量相当大，但 98% 的供应都需要依赖进口设备。

突破 9：行星盘结构及蒸镀设备提高金属膜厚度均匀性和生产力

- **技术介绍：**研发了一种行星盘结构和蒸发沉积设备。行星盘结构包括：转盘和至少一个基板盘，第一旋转连接件设置在每个基板盘和转盘之间，用于旋转连接基板盘和转盘，使得基板盘的中心轴线与转盘的夹角可变。通过设置转盘，可以给基片盘提供支撑，从而保证整个行星盘的结构稳定性。通过将基片盘设置在转盘上，以使基片盘可以随着转盘的旋转而旋转，并且可以保证设置在转盘上的全部基片盘的旋转速度均相同，从而提高不同基片上的金属薄膜的厚度的均一性。
- **技术功效：**行星盘结构的衬底盘的角度是可变的，使得在涂覆大尺寸衬底的过程中，可以有效地提高衬底上金属膜的厚度均匀性，并且提高衬底涂覆的产率，从而降低生产成本。
- **专利申请：**该技术已申请国际专利，专利名称为“一种行星盘结构以及蒸镀设备”，申请日为 2021 年 12 月 31 日，公开号为 WO2023124251A1；专利权人为华为数字能源技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为谭子婷、齐意、易洪昇、焦威。

六、滤波器 (BAW)

射频前端中的滤波器是一种从信号中去除一些不需要的成分或特征的设备，从而提高通信质量。滤波器分为传统 SAW 滤波器和 BAW 滤波器，其中 SAW 滤波器几乎被日本厂商垄断，Murata、TDK、太阳诱电等几家公司占据全球市场份额 80% 以上，BAW 滤波器市场则被博通 (Broadcom) 和 Qorvo 垄断。华为受到美国的禁令，无法从这些公司采购。

突破 10：可调谐滤波器和可调谐滤波装置解决滤波效果较差的问题

- **技术介绍：**目前，E 面滤波器中的金属板的尺寸固定，实际使用过程中，上述 E 面滤波器的带宽会随着中心频率的增大而变宽，导致该 E 面滤波器的滤波效果较差。华为研发了一种可调谐滤波器及可调谐滤波装置，其包括：腔体、位于腔体中并在第一表面中设有至少一个通孔的过滤元件、驱动机构、连接到驱动机构并穿透腔体的第一表面的至少一个第一可调谐元件和至少一个第二可调谐元件。一个第一可调谐元件的一端被布置为与所述至少一个通孔中的一个相对。一个第二可调谐元件的一端被布置为与所述至少一个通孔中的两个相邻通孔之间的位置相对。所述驱动机构控制所述至少一个第一可调谐元件以使其同步地移动，并且控制所述第二可调谐元件使其同步移动。
- **技术功效：**解决了现有的 E 面可调滤波器的滤波效果较差的问题。
- **专利申请：**该技术已申请国际专利，专利名称为“可调谐滤波器和可调谐滤波装置”，首次公开日为 2019 年 8 月 9 日，公告号为 US10873118B2；专利权人为华为技术有限公司。
- **研发团队：**成员依次为王辉、赵青、曹国祥、谢金元。

七、结论

1. 华为将带动我国实现“卡脖子”技术的“多点突破”过渡到“全面突破”

从刻蚀机、薄膜沉积设备、射频前端滤波器，到 EDA 和芯片 IP，再到光刻机技术，华为正在实现“多点突破”，该进展将带动国内研发机构一起实现“卡脖子”技术的“全面突破”。其中，最后一道关卡可能是高端光刻机，特别是制做 5nm 以下制程芯片的 EUV 光刻机，但包括华为在内的国内研发机构正一步一步地获得突破（湘汉有恒《高层次科技人才情报（内参）》持续关注）。全面突破 5G “卡脖子”技术只是时间问题，而且不会太久。

2. 华为的技术突破充分说明美国对华“技术封锁”效用的短暂性

美国从 2019 年 5 月开始围堵华为，到今年 8 月华为恢复发布 5G 手机，其时间长度仅为 3 年，大大短于外界预估的时间（外国甚至有舆论认为华为将被压垮）。3 年来，美国对华为的打压已接近“极限”，但此番华为仍然突破重重技术封锁实现绝处逢生，美国也难以再祭出比此前更有效的制裁手段，因此美国对华为乃至对中国的“技术封锁”效用是短暂的，最终是不奏效的。

3. 华为助推中国大陆 5G 芯片的进步给台积电的战略价值造成重大打击

华为助推了中国大陆 5G 芯片技术创新链的快速进步，给全球最大的高端芯片制造商——台积电带来重大冲击。近年来，台湾以及美国视台积电为具有重大战略价值的实体，台湾称台积电为“护国神山”，美国施压台积电前往自己国家设

厂，其背后的地缘政治价值不言而喻。中国大陆 5G 芯片技术的进步说明，台积电将不再是全球唯一的高端芯片制造商，中国大陆将是中国乃至全球高端芯片的重要生产地，届时台积电的战略价值将出现重大流失。

法律声明

本报告版权为北京湘汉有恒科技有限公司（简称“湘汉有恒”）独家所有，且拥有唯一著作权。本报告提供给订阅用户使用，仅限于订阅用户内部使用。未经湘汉有恒授权，禁止任何个人和单位以任何方式在任何媒体上（包括互联网）公开发布、售卖，且不得以任何方式将研究报告的内容提供给其他单位或个人使用。若引用该报告内容，需注明出处为“报告名称（湘汉有恒）”，且不得对本报告进行有悖原意的删节与修改。本研究报告仅作为学习和参考资料，湘汉有恒不保证分析得到的信息准确性和完整性，也不承担任何投资者因使用本产品与服务而产生的任何责任。



湘汉有恒公众号



科技情报商城

北京湘汉有恒科技有限公司（简称“湘汉有恒”），为专业的科技情报服务提供商。我们利用知识图谱、数据挖掘和人工智能等技术手段，从科技大数据中挖掘高价值的科技情报，为客户提供科技创新情报和人才情报服务——欢迎交流与合作。



客服人员：邬克



186 1249 2858（微信）



wuke@xh-persistence.com



<https://www.xh-persistence.com>



北京市昌平区回龙观东大街 338 号腾讯众创空间 A 座 228