

LED 将改变通信方式

在通信方面使用 LED 将会是下一个大事件。例如，LiFi 是一种使用依赖 LED 传输信号的新型无线通信，已知

其比传统的 WiFi 信号会更加安全。

总之，LED 能够促进照明设备变得更加智能和更好控制。氮化镓光电学的未来会比过去任何时候更明朗。

摩尔定律发展亟需 450 mm 硅片 但时间可能会推迟

屠海令



50 年前，戈登·摩尔在为《Electronic》杂志撰写的一篇关于让更多元件填满微芯片的文章中，提出了著名的“摩尔定律”，但多年来他自己并不太宣扬此事。如今，摩尔定律已成为人类历史上的奇迹，正如英特尔公司首席执行官 Brian Krzanich 近日指出的：“假如 1971 年推出的大众甲壳虫 (Volkswagen Beetle) 汽车以与摩尔定律相同的速度发展，则该款汽车现在的行驶速度应高达 300 000 mile·h⁻¹，且价格仅为 4 美分。”

在今后的 20 年中（在发展变化如此剧烈的当今社会，20 年的愿景可能已是极限了），如果人们仍想继续延用摩尔定律的话，较为合适的技术方案是在 10 nm 及以下技术节点采用 450 mm 硅片。其实，摩尔早在 1965 年便预言，要想降低器件的制造成本，硅片尺寸将会不断增大。历史上，随着集成电路复杂性的增加，每次硅片尺寸的变化在技术层面都更具挑战性。获得 300 mm 硅片的经验表明，技术进步、商业模式、经济和市场动态及产业协作将对 450 mm 晶体生长、制片技术和相关设备的开发产生重要影响。

回顾大直径半导体硅材料发展的历程，1995 年，德国 Siltronic AG 公司首次成功研制出 400 mm 硅锭。随后，日本关键技术中心和 7 家硅材料公司成立了超级硅研究所 (SSi)，该研究所在 3 个实验室内耗时 5 年研发了 400 mm 晶体生长、制片和外延技术。尽管 SSi 所取得的技术成果极具价值，但仍不能满足下一代集成电路的成本 / 性能要求。1999 年，北京有色金属研究总院 (GRINM) 利用 28 英寸热场也生长出了 400 mm 硅单晶。

2000 年，美国半导体工业协会 (SIA) 发布了《国际半导体技术发展路线图》(ITRS)，文中列出下一代集成电路衬底材料将采用 450 mm 而非 400 mm 硅片。此后，关于 450 mm 硅片的争论便此起彼伏：英特尔公司、三星电子公司和台湾积体电路制造股份有限公司 (TSMC) 主张大力研发 450 mm 硅片设备和材料，而超威半导体有限公司 (AMD) 和多数集成电路制造商则持反对态度。但近年来，业界已达成向 450 mm 硅片产品过渡的共识。世界主要半

General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088, China

© The Author(s) 2015. Published by Engineering Sciences Press. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

英文原文：Engineering 2015, 1(2): 162-163

引用本文：Hailing Tu. 450 mm Silicon Wafers Are Imperative for Moore's Law but maybe Postponed. *Engineering*, 10.15302/J-ENG-2015060

导体制造商正协同组织推动 450 mm 硅片技术的发展。G450C 联盟、EEMI450 联盟 (欧洲) 和 Metro450 联盟 (以色列) 频繁召开具有高度建设性的例会, 这三个联盟可互用研究结果, 而无需进行重复性实验。除半导体制造技术战略联盟 (SEMATECH) 和国际半导体设备与材料协会 (SEMI) 的计划外, 全球产业链也在合作研发纳米集成电路工艺技术和相关设备, 这对 450 mm 硅片工艺流程和应用来说具有积极意义。向 450 mm 硅片过渡的最佳时点取决于 450 mm 硅片的成本 / 性能优于 300 mm 硅片的经济论证。然而, 2014 年 G450C 联盟中出现暂缓研发 450 mm 硅片的迹象; TSMC 宣布 2018 年以前, 将不对 450 mm 硅片的技术研发抱有期待。业界普遍认为, 这些大公司可能在等待新型应用技术 (如物联网、谷歌千兆级光纤网络、苹果颠覆性技术等) 拓展对集成电路的增量需求, 以最终惠及各方。

尽管如此, G450C 联盟的研究工作进展喜人, 2015 年 4 月 16 日, 第一台 450 mm 硅片浸润式光刻机在纽约州立大学理工学院的奥尔巴尼纳米技术研究中心成功运行。该机由尼康公司研制, 预计可加速下一代微芯片的研制。同时, Mipox 公司于 5 月发布了 450 mm 硅片抛光机, 并配备有新型抛光头及多年累积的抛光技术, 不但效率可提高一倍, 而且还开发了硅片顶部边缘的抛光方法。该机于 2015 年 7 月开始提供抛光服务。

450 mm 硅片相关的技术挑战包括单晶炉和热场设计、缩颈技术、晶片厚度和平整度、晶片几何和边缘形状、机械加工、杂质和缺陷控制等。已有不少研究涉及先进的单晶生长工艺和晶体原生凹坑缺陷的控制, 以确保晶体质量、均匀性和产量。目前看来, 将 450 mm 晶体加工为晶片似乎不存在根本性障碍, 可使用线锯切割 450 mm 晶圆, 但线上张力的增加可能会限制钢丝直径的减小, 从而增加切口的损失并影响切片的总厚度偏差。450 mm 晶片的掺杂及厚度将更加均匀、缺陷密度会更低, 对局部平整度 (SFQR) 的要求也更高。为了获得优质衬底, 必须考虑污染精细化控制和缺陷及杂质之间的相互作用。

计算机模拟已成为一种能缩短实验时间、降低能耗和减少高纯度材料 (如多晶硅、石英坩埚和石墨加热器) 用量的强有力且经济上性价比高的工具。数值研究表明, 随着集成电路特征线宽变小, 硅片中“致命”缺陷的尺寸也会减小; 因而, 450 mm 硅片上的材料均匀分布对电路成品率格外重要。同时, 还应创建用于解决经济问题的精细模型, 该模型要能够反映材料在供应链中的真实情况。在该供应链中, 450 mm 硅片需要重新对材料搭配和

输送进行优化。

450 mm 晶片的批量生产重在提高晶体生长的生产效率和降低生产成本, 通常建议多晶装料量为 1 000 kg, 坩埚直径为 40~44 英寸。为解决低成本 450 mm 晶体生长的技术难题, GRINM 于 2002 年研制了 450 mm 硅单晶; 并从 2013 年起, 批量生产和销售集成电路设备零件用的晶圆。SUMCO 公司近期的报告也称, 进行 450 mm 晶片测试和生产的时机已成熟。

向大直径晶片过渡始终面临着挑战。若 450 mm 晶片原始设备制造商以 10 nm 及以下技术节点为目标, 则工艺技术会发生重大变化; 即便是某些 10 nm 技术和工装也需要进一步改进, 才能满足 7 nm 和 5 nm 技术的要求。例如, 晶体管沟道会采用具有更高迁移率的材料 (如 Ge 或 InGaAs), 而这种硅衬底上的异质外延将增加技术层面的复杂性。

制定标准是向 450 mm 晶片过渡的关键环节。自 2008 年编制第一个 450 mm 晶片标准后, SEMI 已发布了 19 个标准, 另有 13 个标准正在筹备之中。这些标准规定了 450 mm 抛光片和外延片的技术要求, 并提供了晶片几何测量和表面检查的指南。例如, 450 mm 晶片厚度标准为 925 μm 而不是以前建议的 825 μm ; 450 mm 晶片缺口以 $\langle 110 \rangle$ 或 $\langle 100 \rangle$ 轴线为中心, 而无缺口晶片标准最近亦获批准。450 mm 晶片的技术规范比小直径晶片更加广泛, 其标准化参数涉及边缘轮廓、翘曲、导电性、掺杂及表面状况等。目前, SEMI 标准工作组一直在努力编制新的 450 mm 晶片标准。

即将在旧金山举行的 2015 SEMICON/WEST 展会计划讨论 10 nm、7 nm 和 5 nm 技术节点的发展蓝图, 其中, 半导体技术研讨会 (STS) 将对电阻 - 阻容管理、集成技术以及大规模和低成本制造等挑战进行探索。事实上, 硅材料并非如某些人想像的那样已经过时了。研究表明, 纳米硅和 Si^{28} 具有制备固态量子计算机的潜力; 另一方面, 450 mm 硅片与高迁移率沟道材料、高介电常数材料、碳纳米管 (CNT)、石墨烯、有机和生物基材料的结合仍是 10 nm、7 nm 集成电路最具竞争力的候选方案, 并将为 5 nm 技术节点铺平道路。可以预期在未来几年内, 光刻技术和关键设备将会有重大突破; 当然, 这还取决于设备公司和集成电路制造商之间的博弈。此外, 集成电路自上而下与自下而上的技术路线相结合可产生协同效应, 这不仅能够继续改变我们的生活, 为现代社会带来众多好处, 而且还将成为新工业革命的巨大推动力。