

上海微系统所开发出面向二维集成电路的单晶金属氧化物栅介质晶圆

中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员狄增峰团队在面向低功耗二维集成电路的单晶金属氧化物栅介质晶圆研制方面取得进展。8月7日，相关研究成果以《面向顶栅结构二维晶体管的单晶金属氧化物栅介质材料》（Single-crystalline metal-oxide dielectrics for top-gate 2D transistors）为题，发表在《自然》（Nature）上。

硅基集成电路是现代技术进步的基石，但在尺寸缩小方面面临着严峻挑战。当硅基晶体管沟道厚度接近纳米尺度时特别是小于几纳米，晶体管的性能会显著下降，而进一步发展将面临物理极限。二维半导体材料具有高载流子迁移率和抑制短沟道效应等优势，是下一代集成电路芯片的理想沟道材料。

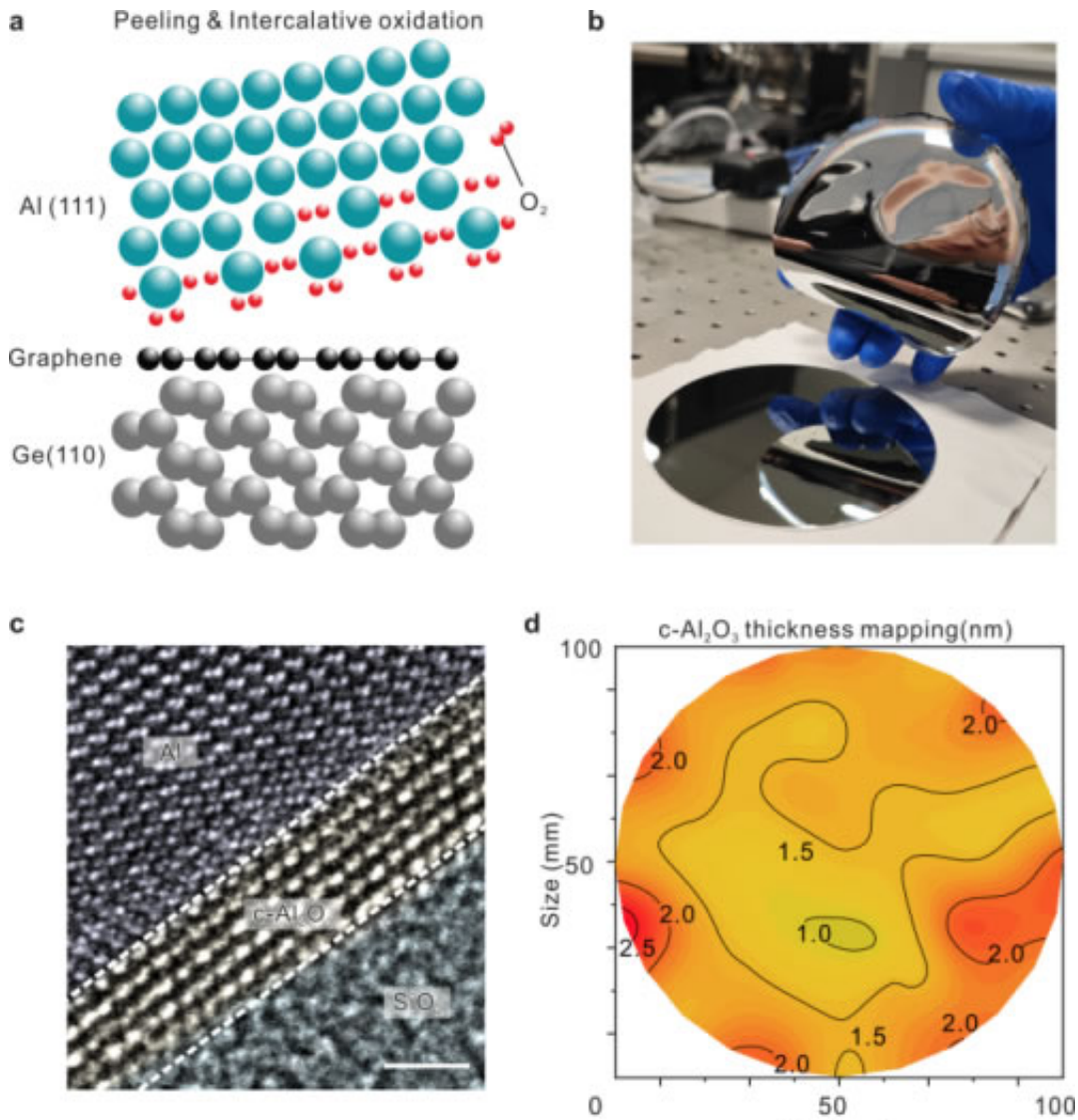
然而，二维半导体沟道材料缺少与之匹配的高质量栅介质材料，导致二维晶体管实际性能与理论存在较大差异。传统硅基非晶栅介质材料表面悬挂键较多，与二维半导体材料形成的界面存在大量电子陷阱，影响二维晶体管性能。单晶栅介质材料能够与二维半导体沟道材料形成完美界面，但单晶栅介质材料生长通常需要较高工艺温度和后退火处理，易对二维半导体材料造成损伤或无意掺杂，形成非理想栅介质/二维半导体界面，且界面态密度通常高达 $10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 左右，无法满足未来先进低功耗芯片发展要求。

狄增峰团队开发出单晶金属插层氧化技术，室温下实现单晶氧化铝（c-Al₂O₃）栅介质材料晶圆制备，并应用于先进二维低功耗芯片的开发。研究以锗基石墨烯晶圆作为预沉积衬底生长单晶金属Al（111），利用石墨烯与单晶金属Al（111）之间较弱的范德华作用力，实现4英寸单晶金属Al（111）晶圆无损剥离，且剥离后单晶金属Al（111）表面呈现无缺陷的原子级平整。在极低的氧气氛围下，氧原子可控的、逐层插入到单晶金属Al（111）表面的晶格中，并维持其晶格结构，从而在单晶金属Al（111）表面形成稳定、化学计量比准确、原子级厚度均匀的c-Al₂O₃（0001）薄膜晶圆。进一步，研究利用自对准工艺，制备出低功耗c-Al₂O₃/MoS₂晶体管阵列，且晶体管阵列具有良好的性能一致性。晶体管的击穿场强、栅漏电流、界面态密度等指标均满足国际器件与系统路线图对未来低功耗芯片的要求。

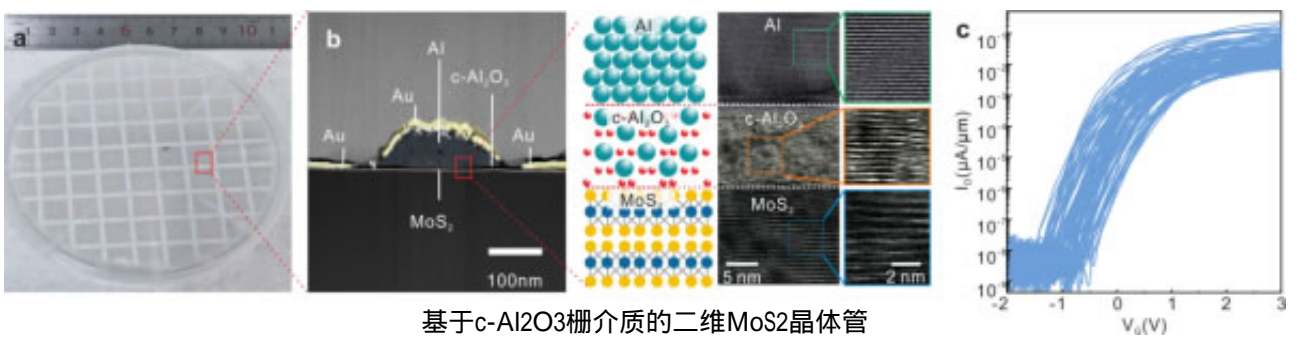
上海微系统所研究员田子傲介绍：“与非晶材料相比，单晶氧化铝栅介质材料在结构和电子性能上具有明显优势，是基于二维半导体材料晶体管的理想介质材料。它的态密度降低了两个数量级，相较于传统界面有了显著改善。”

狄增峰介绍：“硅基集成电路芯片长期使用非晶二氧化硅作为栅介质材料。2005年，非晶高介电常数栅介质材料开始使用，进一步提升了栅控能力。因此，栅介质材料一般认为是非晶材料。此次研制出单晶氧化物作为二维晶体管的栅介质材料并实现二维低功耗芯片，有望启发集成电路产业界发展新一代栅介质材料。”

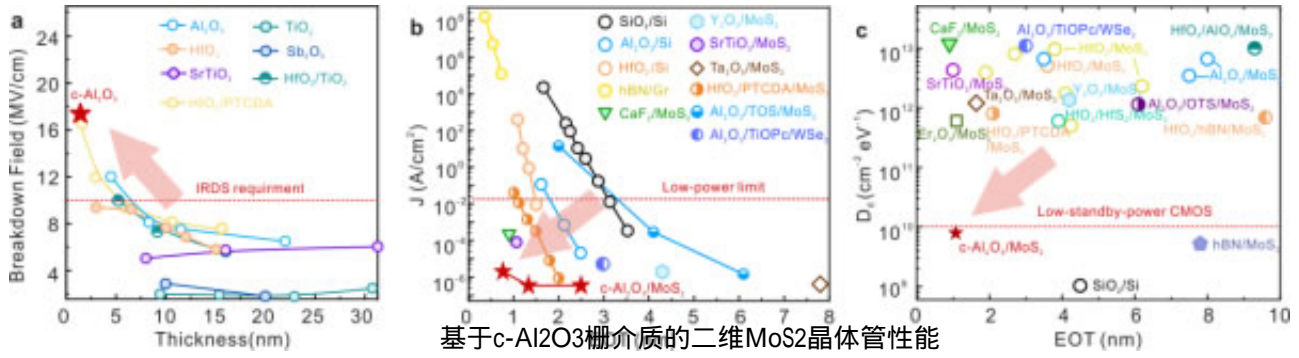
上述成果的第一完成单位为上海微系统所。研究工作得到国家自然科学基金委员会、科学技术部、中国科学院、上海市等支持。



蓝宝石单晶 ($c\text{-Al}_2\text{O}_3$) 栅介质薄膜



基于 $c\text{-Al}_2\text{O}_3$ 栅介质的二维 MoS_2 晶体管



原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/214492.html>