石墨烯辅助电极转印，探路二维材料“新世界”

作者：writer 来源：爱科学

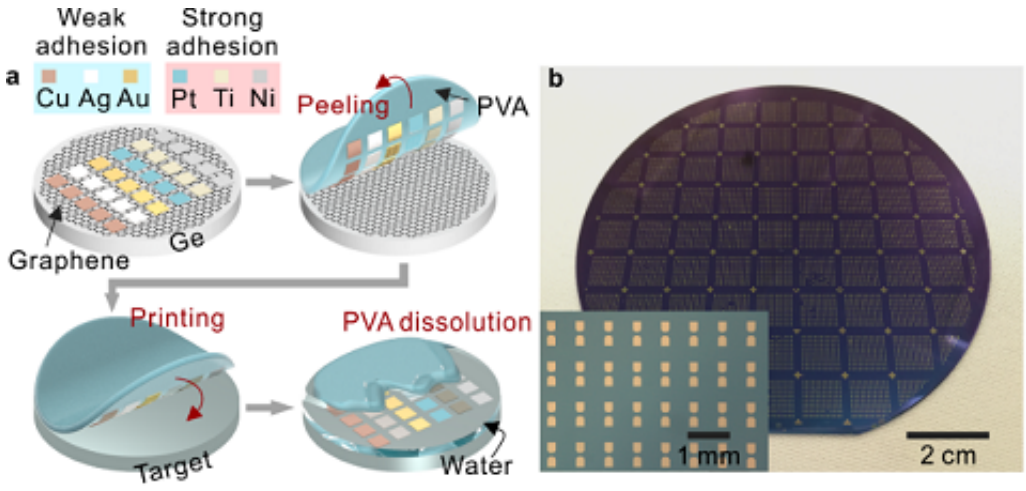
本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/18491.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

石墨烯辅助电极转印，探路二维材料“新世界”。尽管芯片制程已经一步步逼近物理极限，人们对集成电路性能和尺寸的要求却丝毫没有降低。基于新结构、新原理的二维半导体器件以其独特的性能，有望解决硅基器件面临的瓶颈。然而，二维材料超薄的厚度（原子级厚度）使其十分脆弱，加工制造过程中极易造成材料损伤或掺杂，从而导致器件实际性能与预期存在巨大差异。

近日，中科院上海微系统与信息技术研究所信息功能材料国家重点实验室研究员狄增峰团队，开发出一种石墨烯辅助金属电极转印技术。该技术以锗基石墨烯晶圆作为预沉积衬底生长金属电极阵列，并利用石墨烯与金属间较弱的范德华作用力（一种分子间作用力），实现了任意金属电极阵列的无损转移，且转移成功率达到100%。

该技术对二维材料工艺路径进行了探索，或将推开通向二维芯片应用新世界的大门。5月23日晚，相关研究以封面文章形式在《自然—电子学》上发表。



石墨烯辅助金属转印流程及4英寸电极阵列照片 受访者供图

材料降维功能升级

操控不同的原子一个个堆叠起来，得到想要的材料，一直是材料学家的梦想之一。

2004年，单原子厚度石墨烯的发现为二维材料（厚度从单原子层到几个原子层，电子仅可在两个维度自由运动的材料）应用带来了希望。二维材料电子迁移和热量扩散被限制在平面之内，因而展现出三维材料未有的特性。

不同的二维材料晶体结构各异，因此出现不同的电学或光学特性，使其在光电器件、热电器件、仿生器件、光电探测等领域展现巨大的发展潜力。有材料学家预言，在未来人们可以借助二维材料，在提升集成电路性能和功能的同时大大降低制造成本。

二维材料有很多独特的性能，但它在实际应用中也面临一些加工难题。狄增峰告诉《中国科学报》，随着集成电路逐步进入‘非硅时代’，开发适用于二维材料的半导体先进制程工艺需求非常迫切。

电极生长难题

电极是集成电路的基础，任何电子器件、电路都要通过电极连接实现复杂的功能。

在集成电路制造工艺中，常规的电极生长技术是将金属原子束打到基底材料上。尽管金属原子束的能量有限，但对于超薄的二维沟道材料来说，溅射离子轰击会对材料造成损伤，导致二维沟道材料产生缺陷，或造成难以避免的掺杂，从而形成非理想金属/二维半导体界面，使半导体器件性能无法达到预期。

为解决这一问题，狄增峰团队和中科院上海技术物理所研究员胡伟达团队合作，另辟蹊径地让金属电极先在其他地方生长，长成后再把电极像胶带一样‘贴’（转印）到二维沟道材料上。

一方面，转印技术不存在这种冲击的能量，不会对二维沟道材料造成损伤。狄增峰说，另一方面，此前人们在转印前，让金属‘长’在二氧化硅片上，二氧化硅片虽然看起来是个平面，实际上它的表面有很多‘悬挂键’，像手指一样伸在外面。因此，‘长’上去的金属电极就被这些‘小手指’拉住，转印前很难把它‘撕’下来。

紧接着，该团队再次拓展思路，以锗基石墨烯晶圆作为预沉积衬底，生长金属电极阵列。由于石墨烯没有悬挂键的勾连，石墨烯与金属之间只有较弱的范德华作用力，长在石墨烯上的金属电极阵列就很容易被揭（转移）下来。

重要的探索

利用新的转印技术，该团队实现了任意金属电极阵列（如铜、银、金、铂、钛和镍）的无损转移，且转移成功率达到100%。

以前人们也能做到小面积或数个器件的转印。狄增峰解释说，现在可以转印‘金属电极阵列’，包括一些电路、比较复杂的结构都可以转印，甚至达到‘晶圆级别’。

通过原子力显微镜、截面扫描透射电镜，我们证明了剥离后的金属表面呈现无缺陷的原子级平整

。该论文共同第一作者、中科院上海微系统与信息技术研究所博士后刘冠宇补充说，而且，铜、银、金、铂、钛和镍6种金属电极阵列均可成功转印至二硫化钼沟道材料上，形成理想的金属/半导体界面，并观测到理论预测下的肖特基势垒（金属/半导体边界形成的具有整流作用的区域）高度调控行为。

在进一步工作中，研究人员通过选择功函数匹配的金属电极，成功制备出低接触电阻的二硫化钼晶体管器件阵列。该晶体管器件阵列具有良好的性能一致性，其开关比超过106。

业界普遍认为，开关比达到106是一个门槛。该论文共同第一作者、中科院上海微系统与信息技术研究所研究员田子傲说，通常开关比达到106，意味着该器件有较好的栅控能力。说明用这种技术转印出来的产品，可以高效稳定地工作。

目前，该技术可实现4英寸晶圆转印，这意味着该技术已经达到了晶圆级别。

这项研究有两个亮点，一是实现任意金属无损转印，二是能达到‘晶圆级别’大规模制造。狄增峰解释说，晶圆加工时，内部数亿、数十亿器件不可能逐个去加工，只有达到‘晶圆级别’加工，才能让二维材料集成电路逐步成为现实。

制造工艺中，不同功能的二维材料需要有不同种类的金属电极相匹配。石墨烯辅助金属电极转印技术削弱了基底跟金属电极之间的作用力，因而可以转移多种金属。

对此，论文审稿人说，希望（该论文）尽快发表，让更多的同行能尽快用上这样一个‘普适’（适用于多种金属转印）的技术。

目前我们离二维集成电路应用还很远，但二维材料是未来‘非硅时代’集成电路的重要发展方向。狄增峰说，该研究为二维集成电路走向应用做出了非常必要的探索。(来源：中国科学报 张双虎 黄辛)

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41928-022-00764-4

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。

作者：狄增峰等 来源：《自然—电子学》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发