

碳纳米管晶体管研制成功

我们所使用的每一台电脑,至少包含有数十亿只(由半导体硅制成的)晶体管.它们在计算机中接受软件的指挥,或开启或关闭,共同协调完成一部电子表演的音乐舞蹈.过去的几十年,半导体科技人员的努力已经将硅晶体管的尺寸从几十微米减少到 20—30nm,令世人享受到计算机的小型化以及功能的多样化.然而,硅晶体管尺寸的进一步缩小遭遇到挑战.近十年来,人们把硅晶体管的替代物设定为由碳纳米管制成的晶体管,然而研制碳纳米管晶体管的工作成效甚微.最近,Franklin 等在 Nano Letters 上撰文报告,在研制碳纳米管晶体管的攻关工作中,他们获得了成功.

Franklin 等在文章中展示的是一只单壁碳纳米管(single-walled carbon nanotube, SWCNT)晶体管,该晶体管中的单壁碳纳米管长度只有 9nm,直径仅 1nm(尺寸只有现在硅管的一半).它的饱和电流以及耗散功率参数均优于与之等效的硅管.源极和漏极之间由单壁碳纳米管连接,这一组元素与另外的门电极分别位于氧化铪绝缘层的两侧.氧化铪绝缘层厚 3nm,它允许碳纳米管和门电极之间有强的静电耦合.操作电压施加于门电极,由此可控制源极与漏极之间电流的通断.

检验单壁碳纳米管晶体管性能的最重要实验是,测量它在低外加电压(0.4V)下的饱和电流;好的晶体管在门电压略有变化时,它的输出电流应该不受影响.按照硅半导体工业发展路线图,到 2022 年,为维持饱和电流所需的门电压应不高于 0.64V;这个指标已经被 Franklin 等的测试结果(0.4V)大大超越.

早期曾有同行研究过 18nm 长单壁碳纳米管晶体管的性能,发现不存在电流饱和,即电流输出总是正比于外加门电压.其原因是由于弹道电子输运的相干性质,或由于器件的静电设计,目前还不清楚. Franklin 等的实验表明:在碳纳米管和门电极之间,强的静电耦合将有助于晶体管的开关特性,即让关断电流降到一个足够低的值.

在 Franklin 等的器件中,当晶体管关闭时,其关断电流仅仅只有饱和电流的一万分之一.总之,研究者以完美的实验结果实现了企业界十多年来为之奋斗的目标.然而,前面的路还很长,这包括器件的可靠性以及变通的可能性方面的问题,还有全同单壁碳纳米管的批量生产问题.此外,外形全同的单壁碳纳米管还可能具有不同的“味”,从而具有不同的电子特性,这或许是未来应用所面临的最大挑战.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2012, 484:321—322 和 *Nano Lett.*, 2012, 12:758—762)