二十多年后的今天，因为工作的关系，时常能够听到王竹溪先生的大名. 一些曾接触过或受教于王竹溪先生的前辈学人，常常会提起先生的一些往事，如关于某个词语的翻译、某个概念的定义或者某个问题的研究王竹溪先生曾说过什么，言者对先生的学问与为人都是充满敬意. 笔者个人心中对王竹溪先生产生实在的敬佩源于教授热力学的实践. 客观地说，热力学的意义和难度恐怕未被充分认识到，这一点可从我国大学关于热力学课程和任课教师的安排略见端倪. 王竹溪先生对热力学理解的深度鲜有其匹. 举例来说，热力学中有两个值得注意的地方，一是绝对温度都是正的，二是对于孤立体系熵恒不减少. 在我看过的热力学教科书中，很少有注意到这两者之间关系的. 实际上，这两者是关联的：只有选择绝对温标，其中的温度值必大于零，才有孤立体系的熵恒不减少. 这个问题，王竹溪先生在其《热力学》一书中就明确指出了. 此外，这本《热力学》书中还提及了关于热力学第二定律的 Carathéodory 表述，这在笔者接触到的多语种的热力学教科书中也是很难见到的. 注意，王竹溪先生的这本书可是在 1955 年之前的中国完成的，先生学识之不寻常由此可见一斑. 2009 年，刘寄星教授送给笔者一本 1955 年版王竹溪先生著的《热力学》，弥足珍贵.

古人云“立德、立功、立言，可虽久不废”（见《左传·襄公二十四年》），约略想来，王竹溪先生算是做到了这三条. 王竹溪先生功、言皆显，恰是因其作为学人注重立德才有的结果，一些点滴可见于王正行先生的《严谨与简洁之美》一书中. 不知这是否可作为金庸先生在《天龙八部》中论述的关于武功与佛法之辩证关系的佐证. 王竹溪先生曾深刻影响了一两代中国物理学人，愿先生的才、学、识、德未来能影响更多的中国学子——物理学领域以内及以外的.

·物理新闻和动态·

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）

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net