

哥伦比亚大学工程师开发出用于可穿戴电子产品的柔性锂电池

新型锂电池的设计形状有点像人体脊椎，不管怎样弯曲或扭曲，它都具有显著的柔性、高能量密度和稳定的电压。

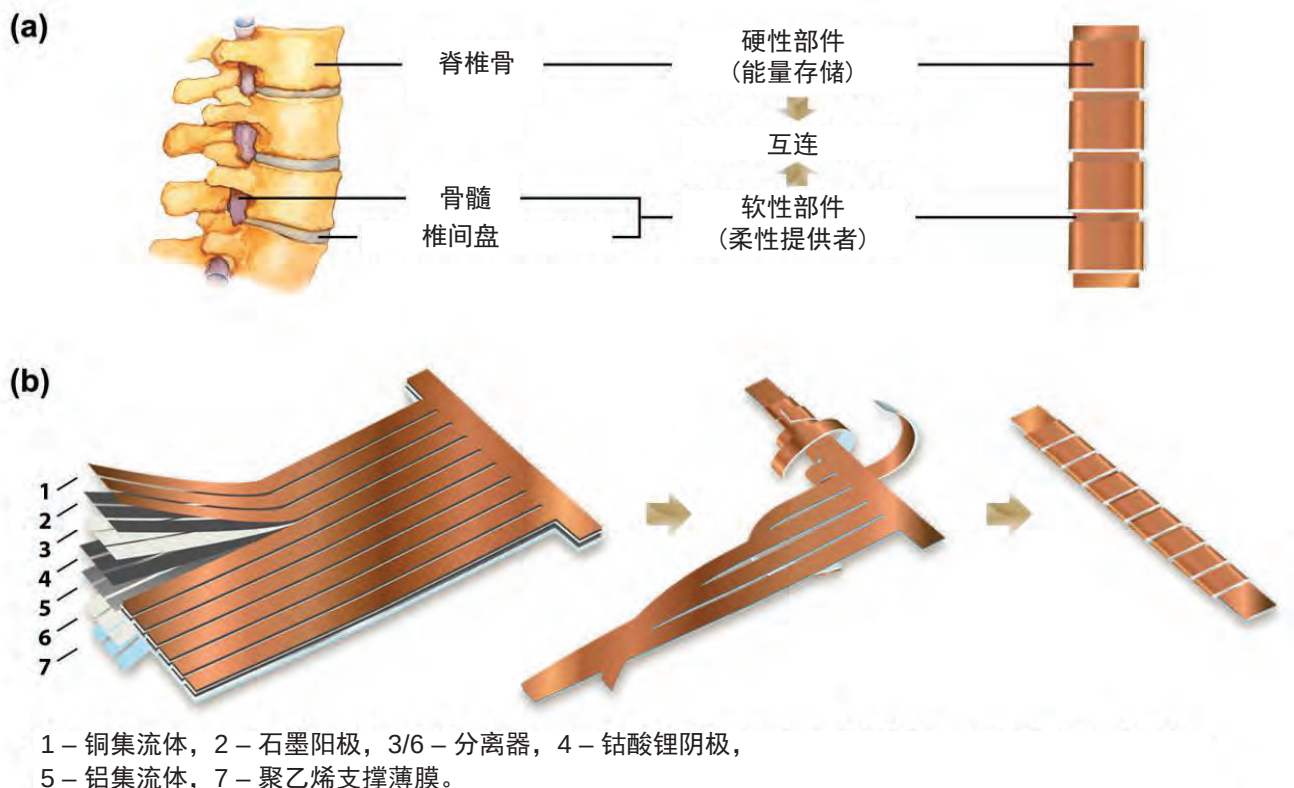
柔性和可穿戴式电子产品的快速发展为我们带来了一系列令人兴奋的应用，从智能手表和柔性显示器（如智能手机、平板电脑和电视）到智能织物、智能眼镜、透皮贴剂、传感器，等等，不一而足。伴随着这种上升势头，对于高性能柔性电池的需求有所增长。然而迄今为止，要想让锂离子电池同时拥有优良的柔性和高能量密度，对于研究人员来说是颇具挑战性的难题。

美国哥伦比亚大学工学院 (Columbia Engineering) 应用物理和数学系材料科学和工程专业助理教授杨远 (Yuan Yang) 领导的团队所开发的原型产品能够应对这一挑战：他们开发的新型锂离子电池形状有点像人体脊椎，无论怎样弯曲或扭曲，它都具有显著的柔性、高能量密度和稳定的电压。这一研究的相关论文发表于《先进材料》(Advanced Materials) 杂志。

杨远说：“在目前为止报道的产

品中，我们的原型所具有的能量密度之高位居前列。我们已经开发出一种简单且可扩展的方案，用于制造这种脊椎般的柔性锂离子电池，此类电池将拥有优异的电化学和机械特性。对于第一代柔性商用锂离子电池来说，我们的设计是非常有前途的候选方案。我们现今正在优化设计并改善其性能。”

杨远及其团队正在探索调整电池材料的成分和结构以实现高性能，他



受到了在健身房里做仰卧起坐运动时人体脊椎柔韧性的启发。人体脊椎具有高度柔韧性、机械鲁棒性且可以扭曲，因为它含有了柔软的骨髓成分，可以与硬的椎骨部分相互连接。

杨远使用脊椎模型设计出一个具有相似结构的电池，它的原型具有厚厚的刚性部分，可通过用薄薄的柔性部件（“骨髓”）缠绕电极（“椎骨”）将脊椎般的电极叠层连接到一起，以存储能量。他的设计让整个电池都具有了优异的柔性。

“由于刚性电极部件的体积明显地大于柔性互连部分，因此这种柔性电池的能量密度可高于标准商用电池的85%。因为整个结构中活性材料占有很高的比例，于是我们设计的这种脊椎般的电池显示出非常高的能量密度，高于任何我们所关注的其他报道中的柔性电池。由于我们受到生物启发进行了合理的设计，所以这种电池还成功地通过了严苛的动态机械负载测试。”杨远解释道。

杨远团队将传统的正极/分离器/负极/分离器叠层剪成若干个长条，让多个“分支”从“脊椎主干”上延伸出90°。然后，他们将每个分支围绕着主干包裹，形成厚厚的叠层用于存储能量，就像脊椎中的椎骨一样。凭借这种集成化设计，电池的能量密度仅受限于脊椎般电极叠层相对于器件总长度的纵向比例（该比例可容易地达到90%以上）。

面对充放电循环，这种电池具有稳定的容量，而且无论怎样弯曲或者扭曲，此类电池都呈现出稳定的电压分布。在循环之后，该研究团队拆解了电池以检查电极材料的形态学变化。他们发现：正电极完好无损，没有从铝箔上开裂或剥落的明显痕迹，从而确认了这项设计具有很高的机械稳定性。

为了进一步展示这项设计的柔性，研究人员在放电期间持续地弯曲或扭曲电池，他们发现弯曲和扭曲都没有打断电压曲线。即使电池在整个放电期间持续地弯曲和扭曲，电压分布也保持完好。另外，处于弯曲状态下的电池也能以高电流密度循环，而且容量保持率相当高（在3C充放电时，三分之一小时内电量可达84%）。电池也能够经受得住持续的动态机械负载测试，而这在较早的研究中鲜有报道。杨远说：“我们的类脊椎设计比传统设计具有高得多的机械鲁棒性。我们预计，采用由生物启发所促成的可扩展方案来制造柔性锂离子电池，能大幅度地推进柔性电池的商用化。”◆

文注：此项研究课题为“具有高能量密度的受生物启发的类脊椎设计柔性可再充电锂离子电池”（Bio-inspired, spine-like flexible rechargeable lithium-ion batteries with high energy density），作者声明没有财务或其他利益冲突。

本文翻译自英文，作者包括杨远及其团队的多名研究人员。

上接第31页

3. 结论

使用硅湿式刻蚀工艺，可以大大消除晶圆背面研磨所产生之应力及损伤层，进而增加晶圆强度。在本文中已针对硅湿式刻蚀工艺原理及设备之设计考虑作一番探讨。本研究采用弘塑科技所设计制造之自动化UFO设备，进行硅晶圆刻蚀工艺，经由设备流场之特殊设计与机构改良。实验结果显示12吋硅晶圆刻蚀均匀度可达到5%。目前弘塑科技UFO M3-Type机型可持取晶圆翘曲度达 $\pm 4\text{mm}$ ，在薄化晶圆持取能力方面，可持取一般晶圆最薄厚度为 $150\mu\text{m}$ ，Taiko晶圆最薄厚度为 $50\mu\text{m}$ ；可回收三种化学药水，使蚀刻液循环过滤回收再使用，一台设备可整合四个工艺腔体，进而大大提高设备产能与降低生产成本。此外，如果在晶背研磨后需要进行晶圆背面金属沉积时，为了增加金属沉积之附着力，则可在刻蚀液中添加一些特殊药剂，

使晶圆在消除应力刻蚀后，晶圆表面能够具备微粗糙化特性，以增加金属沉积时之附着力。◆

参考文献

1. H. Robbins, and B. Schwartz, J Electrochemical Soc. 106, p.505 (1959).
2. S. Ghandi, VLSI Fabrication Principles (1982).
3. M. Heyns, P.W. Mertens, J. Ruzyllo, and M.Y.Lee. Advanced wet and dry cleaning coming together for next generation, Solid State Technology, vol. 42, No 3, pp. 37 38, 40, 42, 44, 47 (1999).
4. I. Blech, D. Dang, “silicon wafer deformation after backside grinding”, Solid State Technology, pp. 73-76, August 1994.
5. J.J. Young, A.P. Malshe, W.D. Brown, T. Lenihan, D. Albert, V. Ozguz, SPIE Proc. International Conf. High Density Interconnect and Systems Packaging, Santa Clara CA US, 4428, (2001), 14-21.
6. J. Chen, I. De Wolf I., Semicon. Sci. and Tech., 18, (2003), 267-268.