

# 脑机接口都选用了哪些化学材料

□ 莫尊理 吕文博



2月20日,美国企业家马斯克表示,他旗下的脑机接口公司“神经连接”在完成首例人类大脑设备植入手术后,首位受试者“似乎已完全康复,没有出现不良反应。受试者只需思考就可以在电脑屏幕上移动鼠标”。此次实验对于人类无疑具有重要意义,通过向人脑植入电极、芯片等装置,建立连接人脑与外部设备的通信和控制通道,从而实现用大脑生物电信号直接操控外部设备或以外部刺激调控大脑活动的目的,这将为未来的人机互动提供强有力的保障,为一些医学难题的解决提供新的方向。

简单来讲,脑机接口可以使人脑与外部设备连接,使得神经信号可以通过传感器收集并转化为电信号等形式,将大脑思考或者尝试的想法从电子设备上以文字等手段输出,实现大脑与机器之间的信息交换。脑机接口有侵入式和非侵入式两类。侵入式,意味着患者通过开颅手术将电极传感器植入头骨下的脑皮层中,颅内作为接口位置,进而进行信息转化。非侵入式,是将传感器贴于患者颅骨外或头皮上,通过刺激捕获电信号以及分析化学传感信号,进而实现信息的脑

机传输。

脑机接口能够实现人脑和外部机械设备之间的高通量信息交换。50多年来,神经生理学家、化学家一直使用各种电极、传感器材料来研究大脑活动,其中许多材料在化学研究领域很常见。现在,我们就简单整理一些化学材料在脑机接口技术中的应用,并分析它们为何能够在该领域得到关注。

## 碳纳米材料

碳纳米材料可分为零维碳材料富勒烯和纳米金刚石、一维碳材料碳纳米管、二维材料石墨烯。这些材料在脑机接口中应用的主要原因在于碳材料具有生物相容性和无毒性,提供了优越的电荷注入能力和高导电性,使高通量电极接口能够提高信号记录质量和刺激效率。碳纳米框架的轻量化、多孔性、柔韧性、导电性和稳定性,使其成为神经组织工程的有用工具,可以增强电极的灵活性。墨尔本大学一研究团队就曾选择性地化学改性的纳米金刚石沉积在碳纤维微电极上,作为传感器用于脑内神经刺激、高质量的神经元信号记录和神经递质检测。

## 水凝胶

水凝胶是一种典型的软湿材料,具有独特的三维亲水网络结构,对人体组



一名受试者接受脑机接口测试。视觉中国供图

织友好。水凝胶因其独特的机械性能、生物相容性、离子电导率、结构可设计等特性而被广泛研究和应用。水凝胶可为多种无机纳米材料提供良好的载体,从而构建性能更加出色的复合材料。具有良好导电性、拉伸性、刺激响应性和高韧性的水凝胶,可用于可穿戴传感器、脑机接口电极等。通过收集和分析脑电图信号,脑机接口提供了对大量实时大脑信息的访问,包括大脑活动和精神状态。天津大学王伟伟研究团队成功开发出基于弹性体-水凝胶复合物的柔性电极,能够高效检测脑电信号,并应用于脑机接口研究。

## 有机电化学晶体管

有机电化学晶体管是一种兼具优异离子和电子传导特性的半导体材料,离子-电子相互作用使其可作为生物学和电子学之间的交互接口,可以直接感受电化学反应所产生的电子和空穴的浓度变化,从而实现高灵敏度的信号

检测。这使它成为构建脑机接口系统的一种可行方案。复旦大学彭慧胜团队结合碳纳米管纤维与有机半导体材料,制备得到柔性可植入纤维状有机电学晶体管,能实现生物体内化学物质微量变化的稳定检测,且表现出良好的生物相容性和稳定性。得益于对生物电子学化学反应信号的出色捕获,该器件可实现对人体过氧化氢、葡萄糖、多巴胺、谷氨酸等的检测,展现出较高的灵敏度和稳定性。脑内免疫荧光实验表明,未发现器件带来的炎症反应,安全性良好。

脑机接口是具有跨时代研究意义的科学技术,但它所面临的研究风险仍需重视,安全性以及器件稳定性有待时间验证。目前,我国在该领域研究应积极与国际接轨,未来将有着广阔的研究空间。

(莫尊理系西北师范大学教授、博士生导师,吕文博系西北师范大学硕士研究生)

# 人脑感知时间与记忆信息量有关

□ 王欣



对于古人而言,冬天意味着冰天雪地、道路泥泞。守在家中期待春天到来的古人,为了不至于无聊就发明出“过年”这一习俗。2024甲辰龙年,人们辞旧迎新,庆祝一元复始、万象更新,仿佛时间又回到原点重新运行一样。岂止“过年”“过节”是人脑思维的产物,就连“时间”也是人脑创造出来的概念。

仔细一想就会明白,时间看不见、摸不着,根本就不是真实存在的物质。然而对时间的感受贯穿日常生活,是人们认识和感知世界的基础,离开它就难以分清事件的先后顺序,也无从讨论如何去完成一项任务,为此人脑创造出“过去、现在、未来、秒、分钟、小时、日、月、年”等相关概念,令我们感觉到时间无处不在,像河水一样静静流淌。1978年,神经科学家波佩尔提出了“基本时间体验”这个名词,它包括对时长、非同时性、顺序、过去与现在、时间流逝的变化感知。那么,人脑究竟如何感知时间呢?

研究者认为,人脑可能有相当

大的区域用不同的方式处理时间信息:某些部位处理毫秒级的信息,某些部位处理分钟或小时级的信息,某些部位处理数天到数年的信息,颞上回的功能是处理语音信息,可以精确到毫秒级别。研究者给实验动物,如猕猴听不同长度的声音信号,发现它的颞上回神经元表现出有规律的变化:有些神经元的放电频率随着时长延长而增加;有些神经元的放电频率随着时间延长而减少,并且神经元放电的时间可以锁定在声音信号的某个相位,如前段、中段或尾段,这样就可以更好地编码声音信号的时长。此处对时长的感知是一种相对时长,即快慢感受,而非绝对时长。

人脑有多个区域具有“计时”能力。这些脑区存在着分工,如新纹状体储存时间信息,顶叶随时间控制注意力,前额叶在执行任务时编码相关的时间信息。受试者如果没有被明确地要求估计一段时间,但是在完成任务过程中必须对时间进行预测,好比接球时要预测球什么时间飞到面前,前额叶、顶叶、皮层运动区和小脑会出现兴奋。

人脑对事件持续时间的感知与生物钟有关。人类的生物钟中枢处于下丘脑的视交叉上核。为了

证明生物钟是否依赖于外界环境而存在,美国国家航空航天局的科学家们进行了一项实验,筛选出一名非常自律的女性,让她在位于地下30米不见天日的天然岩洞中独自生活210天。她成功地度过了6周有规律的生活后生物钟就开始紊乱,时间感变得模糊,在第130天时因为不适感加重而放弃实验。位于北极圈内的索马洛伊岛上的居民,每年会经历4个多月的极昼和极夜,这使他们对时间感变得混乱,最后决定干脆丢弃“时间”,随心所欲地安排自己的工作

和作息。人脑对过往事件持续时间的感知与记忆的信息量有关。如果过去一年发生了很多印象深刻的事情,我们就觉得时间过得很慢;如果过去一年发生的事情大同小异,在头脑中没有留下多少记忆痕迹,我们就会觉得时间过得很快,发出“时间都去哪儿了”的感叹。有些人沉浸在工作中和生活中,当他们专心致意地做着一件事情的时候,是体验不到时间感的,好像一天倏忽而逝。

新的一年,愿我们用心领悟时间的魔法,重新定义时间的内容。

(作者系华中师范大学副教授、中国神经科学学会科普与继续教育委员会委员)

# 石墨烯半导体有助于开发电子产品

科普时报讯(实习生王雨珂)中国天津大学和英国伦敦帝国理工学院的研究人员首次研制出一种由石墨烯制成的功能半导体,攻克了长期以来阻碍石墨烯发展的瓶颈,有助于新的电子产品开发。这项研究成果日前在国际科技期刊《自然》杂志上发表。

半导体是在特定条件下的导电材料,是电子设备的基础部件。硅是几乎所有现代电子产品的原材料,但随着越来越快的计算,以及越来越小的电子设备发展,让这条开发路线越来越捉襟见肘。

在国际科学周刊《新科学家》发表的一篇文章中,科学家马修·斯帕克斯介绍说,石墨烯是一种由单层碳原子制成的材料,在相当的厚度下比钢更坚固,是一种非常好的导体,对热和酸具有很强的抵抗力。

天然的石墨烯既不是半导体,也不是金属,而是半金属。由佐治亚理工学院物理系教授沃尔特·德·希尔领导的团队,制造出一种可以与传统的微电子加工方法兼容的石墨烯半导体。他们创造出具有带隙的石墨烯,甚至展示了一个可以工作的晶体管,以及一个可以阻止或允许电流通过的开关。也就是说,在“带隙”这个点上,被激发的电子可以从一个能量带跃迁到另一个能量带。这可以有效打开和关闭电流,从而控制导电开关,同时创造了数字计算机使用0和1的二进制系统。

沃尔特·德·希尔团队使用加热的碳化硅片,迫使硅在碳之前蒸发,有效地在顶部留下一层石墨烯。沃尔特·德·希尔表示,如今我们拥有一种非常坚固的石墨烯半导体,迁移率达到硅的10倍,还具有硅所不具备的独特性。