

# 科学家用光精确微观复现世界名画

9月中旬，光学权威期刊 Optica 杂志在线发表了一篇十分有趣的论文：其研究主题，是一种全新的“用光绘画技术”。来自南京大学的徐挺教授和陆延青教授带领其课题组，联合美国国家标准与技术研究院的研究人员，合作完成一项利用自然光结构色来绘画的实验，他们超高精度地复现了17世纪荷兰艺术家扬·维米尔的传世画作《戴珍珠耳环的少女》。

## 以光代笔

阳光包含几种颜色？对于这个问题，稍有物理常识的人一般都知道：红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫。

1666年，科学巨匠牛顿在家休假期，做了一项著名的光谱分析试验，他发现自然光透过三棱镜折射，可呈现出包含七种颜色的绚丽色散现象，这为后来的光谱学研究奠定了理论基础。

1801年，英国学者托马斯·杨研究了人眼视觉对颜色的感知，他指出在可见光谱的位置排列上，只需选择三种基本色，按不同的比例叠加组合，就几乎可产生任何一种颜色；而随后德国学者赫尔曼·冯·亥姆霍兹在1856年至1867年期间，继续对视觉颜色进行了深入分析，确立了光的三原色理论。直到今天，我们生活中几乎所有的彩色显示屏，都是基于红、绿、蓝三原色组合，来呈现出不同的画面。

既然可见光中本来就有颜色，而三原色组合又可以产生各种色彩，那有没有想过，用自然光直接绘画，结果将会如何？在这项实验中，当自然光透过一个承载微纳结构的载玻片，《戴珍珠耳环的少女》被完美投射出来。

更让人惊叹的是：第一，这幅“画”的实际尺寸只有一毫米左右，需要通过显微镜才能观察到细节；第二，“绘画”没用任何颜料，仅靠微纳结构材料对光的折射转化，就为整幅画精确涂上了应有的色彩；第三，首次实现了对光色明暗过渡的控制，让整幅画看上去更加富有立体感。

这项由科学家完成的“艺术”活儿，不仅让微纳光学研究更进一步，将来还会带来一些有趣的应用空间。

## 来自大自然的灵感

徐挺现在是南京大学的教授、博士生导师。多年来，他一直专注于人工微纳结构材料在成像和检测方面的应用研究，方向包括人工超材料、纳米光子学、表面等离子体电学材料器件以及微纳加工技术，在 Nature、Nature Communications、Advanced Materials、Nano Letters 等权威期刊发表过60余篇高水平论文。

徐挺介绍，传统意义上的绘画，肯定需要各种颜料，但绝大多数颜料对于环境的友好度、稳定性是比较差的，如果没有特殊保护，一幅画挂一段时间就会褪色，特别是在高温或强光影响下，褪色尤其快，而化学颜料对人体健康也有损害。

但是在大自然中，有很多十分鲜艳的颜色，实际上并不是色素造成的，而是光的幻象。例如，在南美洲有一种蝴蝶叫蓝

闪蝶，翅展约15厘米，在阳光照射下能呈现出十分绚丽的蓝色金属光泽。科学家曾对大蓝闪蝶的翅膀进行微观研究，发现其翅面覆盖的鳞片，在微观结构上十分精妙，由多层立体光栅构成，当光线照射到翅上时，这些结构对光有折射、反射和绕射等多重作用，最终把蓝色、或偏紫色凸显出来。

这意味着，科学家们也可利用微结构原理，来精准控制光的反射、干涉或者衍射等，从而产生各种不同的色彩，业界将这种技术称为结构色，是近年来学术界比较热的研究方向之一。

结构色相比传统颜料，其最大的好处是构成物质单一。无论要展现什么样的颜色，差别只在于材料结构本身的设计调整，它的物理跟化学稳定性比较高，无论强光照射还是常规的温差变化，都不会对它产生的颜色造成任何影响，同时，它也不会对环境或人体造成化学侵害。

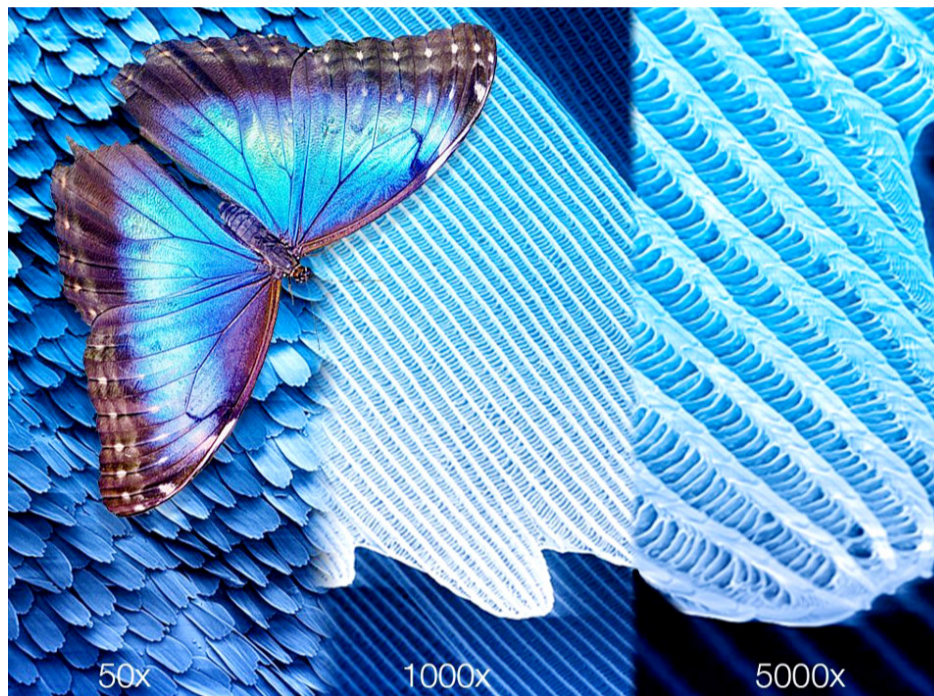
在这项实验中，用结构光绘画《戴珍

定的颜色强度有精准的调控方式；第二是加工结构阵列，很多纳米柱的尺寸非常小，一般只有几十到几百个纳米。

徐挺补充说：“从原理看，我们目前用结构光做一幅大的图像完全没问题，但做大反而不能呈现出我们的优势，我们现在能在毫米甚至亚毫米尺度，把这幅画作的细节完全展现出来，没有任何细节丢失，这才是我们的优势。”

第一步就是选择材料制作基底和纳米柱。徐挺介绍，基底载玻片选择的材料是二氧化硅，该材料对整个可见光频段的透光率都非常高，而纳米柱选用的材料则是二氧化钛，该材料对可见光没有太多吸收且折射率比较高，利于对光场的调控。

这幅画的微结构包含很多复杂的光学



蓝闪蝶的翅膀微结构。

珠耳环的少女》旨在探索技术的边界，其本质就是要基于微纳结构，对可见光谱进行一次精准调控，研究人员抱着这样的目的开始了“绘画”研究。

与此前业内的相关研究相比，本研究的最大亮点在于，不但可以产生各类颜色，还能产生明暗强度的变化。产生指定结构色很多科研团队都能做到，但那种情况下，如果用来绘画实际上只能是色块的组合，整幅画里只有颜色区分，没有阴影变化，缺乏生机感和立体感，如果要复现一张油画的画面，用结构色是很难实现的，这便是此项技术研究的门槛所在。

## 操控光线的纳米柱

实验过程的难度跟挑战主要体现在两方面：第一是理论结构设计。一般来看，结构光颜色透过率越高越好，利用率越高越好，但在实际应用场景中，则需要考虑到画面层次分明的细节，需要对某一个特

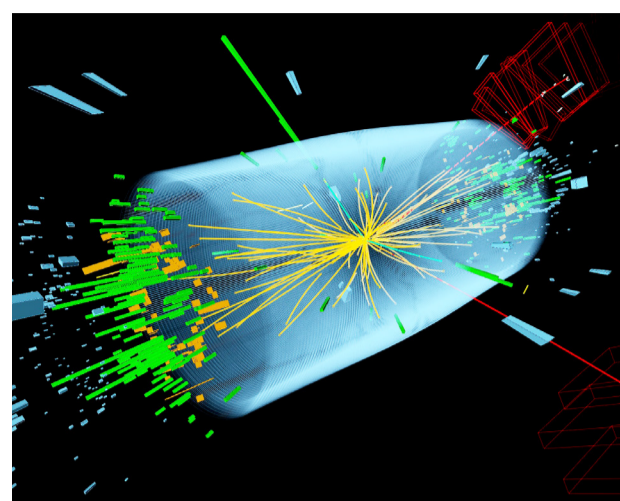
原理设计，简单概括，就是把二氧化钛纳米柱加工成不同的椭圆形状和排列，让它们因为共振效应选择性输出红色、绿色和蓝色三原色，类似于显示屏中的像素。

然后通过改变这些椭圆形纳米柱的转角，让它们对于入射的偏振光起到偏振方向旋转的作用，这不会影响它们的出射光强度，却能把三原色投射在指定区域组合成指定的颜色。最后，研究人员在载玻片的背面放置了一个特殊的偏光滤镜，来调节光线输出的强度。如此，不但能实现各种颜色，而且每一个颜色的明暗都能得到控制。

在微结构加工过程中，研究人员采用原子层沉积技术和电子束光刻技术来实现。即首先在载玻片上沉积一层仅数百纳米厚的超薄聚合物，然后使用电子束光刻，在聚合物中开挖了数百万个尺寸和方向不同的小孔，利用原子层沉积技术，用二氧化钛回填这些孔洞，最终，团队清除掉孔洞



# 量子互联网的新突破：黑客可能将成为历史



新冠疫情期间，全世界有大量的人也只能在家工作，许多人也更加意识到，通过互联网发送敏感信息存在着许多安全风险。信息科学家所能提出的最好方法，就是尽可能地让你的信息很难被拦截（或者被黑掉）——尽管目前来看还不可能。

我们需要的是种新型的互联网：量子互联网。在这个新的全球网络中，数据是安全的，连接是隐私的，对信息被拦截的担忧将成为过去。

近日，英国布里斯托尔大学的量子通信研究者 Siddharth Koduru Joshi 和同事在《科学—进展》(Science Advances) 杂志上发表了一项突破性进展，指出可以利用现有的通信基础设施，扩展量子互联网背后的概念，从而使量子互联网成为可能。

目前保护在线数据的方法是使用数学问题进行加密，如果你有一把解锁的数字“钥匙”，就可以很容易解开数学问题，从而破解密码；如果没有这把“钥匙”的话，密码就很难破解。然而，很难并不意味着不可能，只要有足够的时间和计算能力，今天的加密方法都是可以破解。

相比之下，量子通信使用光的单个粒子（光子）来创建密钥，而根据量子物理学原理，你不可能制造出精确的密钥副本。复制这些密钥的任何尝试都将不可避免地导致可被检测的错误。这意味着，无论黑客多么聪明、多么强大，也无论他们拥有什么样的超级计算机，都无法复制量子密钥或读取加密的信息。

这一概念已经在卫星和光纤网络上得到验证，并被用于在不同国家之间发送安全信息。那么，为什么我们还没有在日常生活中使用它呢？答案是，实现这一概念需要昂贵的专门技术，意味着目前还无法扩展。

以往的量子通信技术就像对讲的儿童对讲机。每一对想要安全通信的用户都需要一对手机。因此，如果3个孩子想要相互交谈，他们就需要3个对讲机或6个对讲机，每个孩子必须有对讲机。如果8个孩子想要相互交谈，他们需要56个对讲机。

显然，对于那些想要通过互联网进行交流的人来说，为每个人或每个网站配备单独的设备是不现实的。因此，Siddharth Koduru Joshi 等人想出了一种方法，让每个用户只用一台设备就可以安全地连接，这更像电话而不是对讲机。

为了共享量子密钥并确保通信安全，每个对讲机都起着发射器和接收器的作用。在 Siddharth Koduru Joshi 等人的模型中，用户只需要一个接收器，因为他们可以从中央发射器获得光子来生成密钥。

这是有可能的，因为量子物理学还有另一个原理——纠缠。一个光子不能被精确复制，但它可以与另一个光子纠缠在一起，这样无论它们相距多远，它们的行为在被测量时都是一样的——这就是阿尔伯特·爱因斯坦所说的“鬼魅般的远距离作用”。

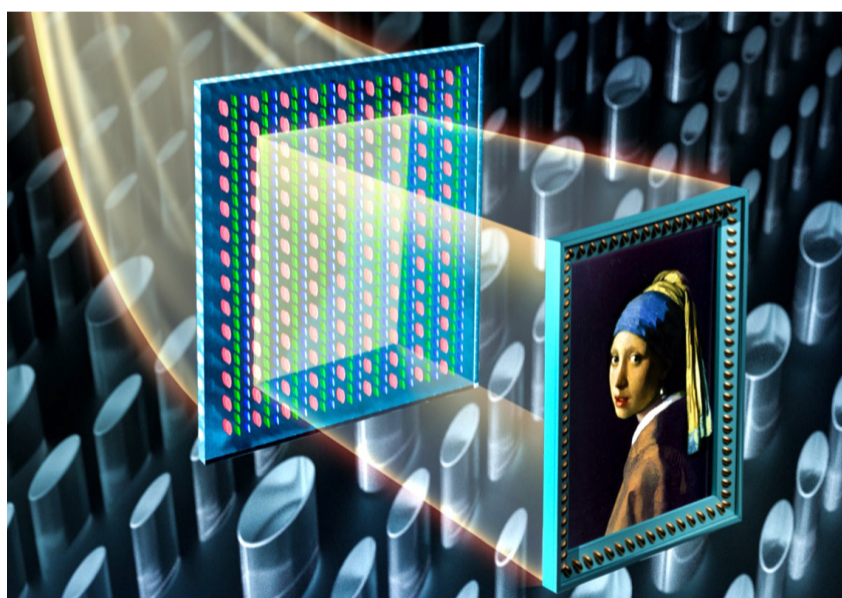
当两个用户想要通信时，中央发射器就会发送一对纠缠的光子，每个用户一个光子。然后，用户的设备对这些光子进行一系列测量，从而创建一个共享的量子密钥。然后他们可以用这个密钥加密他们的信息，并安全地进行传送。

利用多路复用（multiplexing，一种常用的通信技术），我们可以将这些纠缠的光子对有效地同时发送给多个组合的人。我们还可以向每个用户发送许多信号，而这些信号可以同时被解码。通过这种方式，对讲机被有效地换成了一种更类似于多参与者视频通话的系统，在这种系统中，你可以私下、独立地与每个用户进行通信，也可以同时通信。

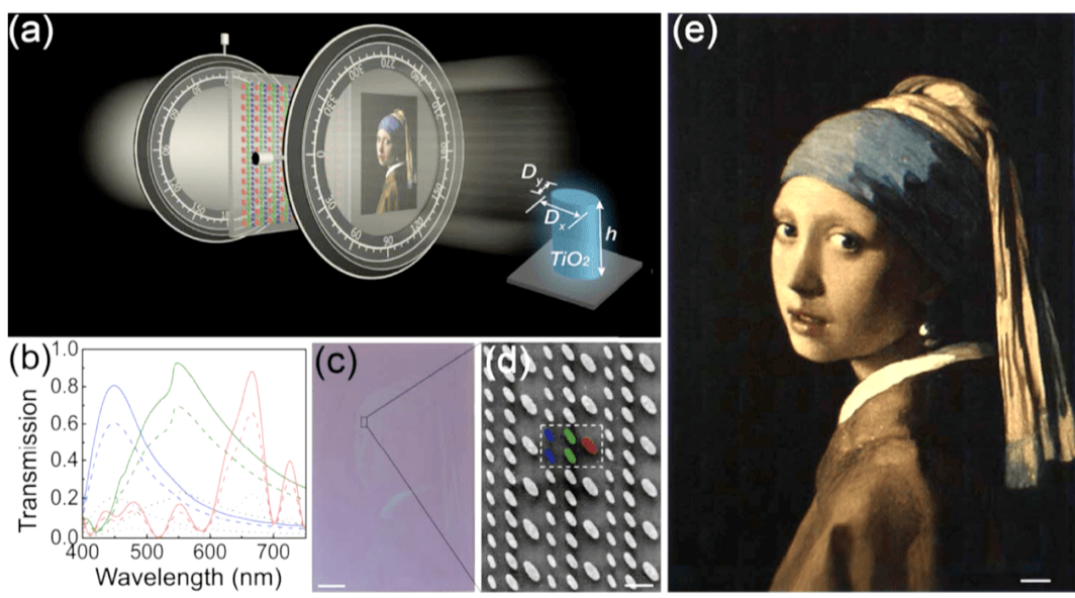
到目前为止，Siddharth Koduru Joshi 等人通过连接一个城市的8个用户，建立了一个这样的网络，对量子网络的概念进行了测试。他们正在努力提高网络的速度，并将多个这样的网络互连起来。已经有合作者开始使用他们的量子网络作为测试平台，对量子通信以外的几个应用进行测试。

Siddharth Koduru Joshi 等人也希望在未来几年内与商业伙伴在此技术基础上开发出更好的量子网络。通过这样的创新，他们希望能在未来十年见证量子互联网的兴起。

（任天）



光影绘画的概念图。



生成全色纳米绘画的电子显微镜图像。

# Nu Quantum公司利用石墨烯和层状材料加速量子通信技术开发

Nu Quantum 公司自2018年年底涉足石墨烯开始，最近成为了欧盟资助的石墨烯旗舰计划的成员。这家初创公司是从石墨烯旗舰计划合作伙伴英国剑桥大学卡文迪许实验室(Cavendish Laboratory)衍生出来的，专门研究单光子量子源技术，该技术旨在创造难以攻破的加密密钥。

Nu Quantum 公司的设备利用光子的量子特性，即光的单个光子特性。与其他需要冷却到绝对零度左右才能稳定实现的量子技术不同，Nu Quantum 公司提供的组件在室温下即可工作，可在大量的商业场景中实现

应用。目前公司正在开发三种技术。两个是组件；一个单光子发射器和一个光子探测器。第三个是结合两个组件以创建量子随机数生成器的系统。安全系统依赖于加密密钥，在传统方式中，它们是由可预测的算法产生的。量子密钥生成利用量子粒子（如光子）的行为来创建完全随机数字序列，从而产生不可破解的密码。该初创公司的目标是在创建更复杂的量子光子通信系统前，首先在室温条件下实现最高效率的光子发射和探测。Nu Quantum 公司目前正在与

电信和太空通信公司进行试点项目。Nu Quantum 公司在其设备中使用石墨烯和其他基于层状材料的技术。这些材料的单原子层超薄特性对于获得量子光源、粒子控制以及效率、灵活性、尺寸、重量和功率要求至关重要。石墨烯是理想材料，它有助于提高组件的效率。Nu Quantum 公司已与石墨烯旗舰计划的合作伙伴开展了紧密合作，并且在最近以成员身份加入该计划。该公司工程师表示，要确认新设备是否真正具有量子性可能很困难。通过从一开始就使用单个量子，然后

使用 Nu quantum 公司算法仔细处理数据，Nu quantum 公司创造了明确的量子技术。Nu quantum 公司表示，目前致力于量子网络安全，但其长期愿景是扩展到量子技术的其他方面，包括传感器和计算等。2018年进行了65万英镑的种子轮融资后，Nu Quantum 公司最近获得了360万英镑的政府自主投资，目前正在筹集总价值数百万英镑的种子轮融资，由不同的风险投资公司支持。Nu Quantum 公司计划在2021年推出其随机数发生器。

（陈济彬）

