

利用飞秒激光对 DNA 和纳米结构组装

摘要 DNA 携带有合成 RNA 和蛋白质所必需的遗传信息，是生物体发育和正常运作必不可少的生物大分子。纳米材料是指在三维空间中至少有一维处于纳米尺寸(1-100 nm)或由它们作为基本单元构成的材料。两种各有特性的材料结合将会产生一种 DNA 和纳米材料的结合，必将会展现新的特性，在医疗和探索人体的方面起到十分重要的作用。本文将介绍一种名为光动力组装的方法，利用飞秒激光进行高精度组装 DNA 和纳米材料，并使用飞秒光梳为组装定位，实现高自主化位点组装。

关键词 DNA、纳米结构、飞秒激光、飞秒光梳、高精度、光动力组装

正文

一 简介

1 生物细胞内所必须的一种带有遗传信息的核酸——脱氧核糖核酸(DNA)，其中含有合成 RNA 和蛋白质，是生物体正常发育和运作必不可少的一种生物大分子。DNA 是由重复的核苷酸单元组成的长聚物，生物体内的 DNA 作为一对彼此紧密相关的双链，彼此交织在一起形成双螺旋结构，从不作为单链存在。DNA 中的核苷酸中碱基的排列顺序构成了遗传信息。该遗传信息可以通过转录过程形成 RNA，然后其中的 mRNA 通过翻译产生多肽，形成蛋白质。DNA 是高分子聚合物，链宽 2.2 到 2.6 纳米，每个核苷酸单体长度为 0.33 纳米。每个单体占据相当小的空间，但时 DNA 的聚合物的长度可以很长。由此可见 DNA 的链宽为纳米量级。

2 飞秒激光光学频率梳，简称飞秒光梳，是一种脉冲间隔在飞秒级别的脉冲光。它在时域上表现为一系列时间宽度在飞秒级别的超短脉冲；在频域上表现为一系列等频间隔、位置固定、且具有极宽光谱范围的单色谱线。飞秒也叫毫微微秒，简称 fs，是标衡时间长短的一种计量单位。1 飞秒只有 1 秒的一千万

亿分之一，即 $1\text{e-}15$ 秒或 0.001 皮秒（1 皮秒是， $1\text{e-}12$ 秒）。即使是每秒飞行 30 万千米的真空中的光，在一飞秒内，也只能走 300 纳米。

飞秒激光犹如一个极为精细的时钟和一架超高速的“相机”，可以将自然界中特别是原子、分子水平上的一些快速过程分析并记录下来。在这一领域，飞秒激光为我们开了一扇新的大门，让我们得以窥见更加细微的自然世界。

二 DNA 和纳米材料结合的应用

自然界存在的聚合物大分子 DNA，作为生物遗传信息的载体，也作为有序的可控的纳米结构单元。而纳米材料由于将粒子缩小到纳米量级而拥有独特的光、热、电、磁学物理方面的性质，纳米材料已成为研究热点持续数年，在医学方面，纳米技术能使药品生产过程越来越精细化，并在纳米材料的尺度上直接利用分子、原子的排列造出具有特定功能的药品。纳米材料粒子能使药物在人体内的传输更为方便，用数层纳米粒子包裹的智能药物进入人体后可修补损伤组织还可以主动搜索并攻击癌细胞。使用纳米技术的新

型诊断仪器仅仅需检测少量血液，就能通过其中的蛋白质和 DNA 诊断出各种疾病。通过对 DNA 和纳米材料的结合，可以使得到的新材料材料拥有一些新特性，例如，可以使用纳米材料辅助 DNA 转录翻译，可以实现特定 DNA 的转录翻译；可以使用纳米材料携带药物对指定病变位置和病毒进行杀灭，大大减少了直接服用或注射药物对正常组织和细胞产生的伤害；也可以使纳米材料充当受体，可以使细胞接收特定药物，也可以使之拥有特殊的功能。当人们将宏观物体细分成超微颗粒（纳米级）后，它将显示出许多奇异的特性，即它的光学、热学、电学、磁学、力学以及化学方面的性质和大块固体时相比将会有显著的不同。钱学森院士预言：“纳米左右和纳米以下的结构将是下一阶段科技发展的特点，会是一次技术革命，从而将是 21 世纪的又一次产业革命。

三、飞秒激光组装的可行性

之前介绍过的飞秒激光，是一种十分奇特的光。飞秒也叫毫微微秒，简称 fs，是时长的一种极小的计量单位，在实验室的理想条件下，人类能获得飞秒激光是目前所能获得最短脉冲。飞秒，是度量时间长短的一种计量单位。飞秒这个单位可以说是极小，1 飞秒 1 秒的一千万亿分之一。即使是自然界中速度最快的光速（30 万千米/秒），在 1 飞秒内，也只能走 $0.3\ \mu\text{m}$ ，纳米材料的尺度为纳米，尺度和飞秒激光接近，物质是由非静止的分子和原子组成的，都在快速地运动着，这是微观物质的一个非常重要的基本属性。飞秒激光的出现使人类第一次在原子和电子的层面上观察到这一超快运动过程。基于这些科学上的发现，飞秒激光在物理学、生物学、化学控制反应、光通讯等领域中得到

了广泛应用。特别值得提出的是，飞秒拥有着快速和高分辨率的优良特性，它在病变前期诊断、医学医疗成像和生物细胞组织活体检测、外科内科医疗及微型卫星的制造上都是不可替代的和独特的。在科研领域，飞秒激光更是无处不在。随着飞秒激光技术的发展，飞秒激光能在更多领域获得更多的应用。为组装纳米材料提供了条件。

四、如何实现光动力组装

上文介绍了 DNA、纳米材料和飞秒激光，那么如何使用飞秒激光对 DNA 和纳米材料进行组装是一个关键性问题，我们使用光动力组装法对 DNA 和纳米材料进行组装。飞秒激光光动力纳米组装新技术，首先要还原原子表面等离子激元效应，如何实现，我们可以使用多光子诱导来完成，可以实现纳米结构的制备。光动力组装纳米材料的概念是由激光提供光化学反应的能量、以光为外力，利用光镊子（光压）驱动原子、离子、分子和粒子等微观粒子纳米基元质量的迁移促成的纳米结构有序制备方法。已经实现的应用如：通过调制激光功率实现对纳米片结构的厚度的调制，获得最薄银纳米片厚度为仅为 27 纳米。并通过改变激光偏振方向调制银纳米片的生长方向。由此得到多层纳米微结构。通过对制备的银纳米片结构进行化学置换反应制备金银符合微纳结构，解决了单纯银 SERS（Surface enhanced Raman Scattering）结构化学稳定性不良的问题，适用于高稳定性高灵敏性拉曼检测基底和多种化学催化反应。在组装 DNA 和纳米材料时，我们利用飞秒激光，可以针对特定原子位置进行组装，实现了自定义组装，并实现了微纳结构和器件的原位装配和驱动。在定位组装位点的时候需要使用一种工具，因为

纳米组装尺度极小，用一般的度量工具很难精确的确定距离和装配点位，所以我们需要一种高精度工具对激光定位操作。所使用的工具为飞秒光梳，飞秒激光光学频率梳，简称飞秒光梳，是一种脉冲间隔在飞秒级别的脉冲光。它是一种超短脉冲，时域上为飞秒级别的宽度；等频间隔、位置固定、且具有极宽光谱范围的单色谱线表现在频域上。使用飞秒光梳对位点的测量，飞秒光梳测距共有五种方法，分别是飞行测距法、双频梳测距法、空间色散干涉测距法、基于实时色散傅里叶变换超快测距法、多波长干涉测距法。针对组装DNA和纳米材料，适用的方法有双频梳测距法和空间色散干涉测距法。双频梳测距法发射脉冲，打到被测物体上产生反射，使用装置类似于迈克尔逊干涉仪，可以通过测量脉冲在空间中的飞行时间来确定距离的方法。本振信号脉冲与参考脉冲以及测量脉冲这两组干涉信号间的相位差和空气色散导致的脉冲光谱相位信息，这两个信息都可以通过干涉信号的光谱相位得到，由于考虑了空气色散对距离信息的影响，由飞行时间法得到距离信息的粗测值，由相位分析获得准确度更高精确值，所以双频梳测距法和飞行时间法原理相同，但是分为探针光梳和本振光梳，两者的时延即为绝对距离信息。本振光梳对测量脉冲扫频，即可获得延迟时间。空间色散干涉法利用飞秒激光脉冲通过空间色散器件同时得到大量单频光的干涉信号，利用谱相位信息解算距离值，所测量的距离信息通过测量脉冲和参考脉冲的频域相位差获得。通过以上两种方法，

结论

使用飞秒激光的优势在于，飞秒激光使用的

可以对所需要组装的位点进行高精度定位，以便下一步飞秒激光光动力组装，飞秒光梳为精确定位结合位点提供基础。有了飞秒光梳的定位支持，通过飞秒激光光动力组装纳米材料就变得轻而易举了。

补充

如今，中国作为全球第二大纳米材料国家，对纳米材料的深度探讨必将成为我国乃至世界都不断前进和追求的一个大方向。我个人比较看好的是纳米材料在医疗方面的应用，首先，利用纳米材料微观的特点，可以控制药物大小来控制药物的溶解速率，而且纳米材料拥有很大的溶解度，为了控制药物释放速率，可控制纳米颗粒分布和大小，以此提高大多数药物的有效利用率，特别是一些昂贵的药物，可以降低患者的负担，此项技术利用的原理是当颗粒小于某一尺度时，较小的颗粒可以溶解于较大的颗粒。可适用于治疗糖尿病的胰岛素和各种具有生物活性的各种肽类。并且最新的发展表明纳米粒子在分离癌细胞和正常细胞方面的动物临床试验已经取得成功，必将有着重大的应用前景，纳米材料也可以作为药物载体，这在医学方面也是重要的应用，这也成为现代药剂学一个重要的发展方向，药物放入磁性纳米材料中，注入人体后，药物将在病变部位集中，完成定向治疗，优点是显而易见的：可缓释药物；提高药物稳定性；保护药物。所以纳米材料在医学领域已应用于药物载体、癌症治疗、基因治疗、抗菌材料、组织工程、医学诊断等方面，给人类带来了许多好处。

光动力组装，不会对DNA结构和纳米材料结构产生损害，可以实现无接触组装。飞秒激光光动力组装精度较高，可以精确到原子、

离子、分子和粒子等纳米基元，而飞秒光梳测距对位点的定位也保证了结合点的多元性和精确性，使得研究人员可以自由选择结合位点。由此可见，使用飞秒激光光动力组装DNA和纳米材料的优势是巨大的，飞秒光梳被提出并应用于精密光学频率计量，建立了光学频率和微波频率的传递关系自飞秒

光梳被应用于测距研究以来，一直是研究领域中的热点，也为测距研究带来了突破性进展。随着测量原理和光源技术的发展，飞秒光梳测距方法必将进一步成熟并被逐步应用于实际测量。在将来发展中，使用此项技术组装出来的DNA纳米材料将在医疗、军事、科研方面得到广泛的应用。

参考文献

- [1] 崔鹏飞, 杨凌辉, 林嘉睿, 郝继贵. 飞秒光学频率梳在精密绝对测距中的应用[J]. 激光与光电子学进展. 2018. 120011(期):1-15
- [2] Avi Pe'er, Evgeny A. Shapiro, Matthew C. Stowe, Moshe Shapiro, and Jun Ye. Precise Control of Molecular Dynamics with a Femtosecond Frequency Comb[J]. PHYSICAL REVIEW LETTERS. 2007. 113004(期):1-4
- [3] 赵力杰, 周艳宗, 夏海云*, 武腾飞, 韩继博. 飞秒激光频率梳测距综述[J]. 红外与激光工程. 2018. 第47卷第10期:1-10
- [4] 谢戈辉, 刘洋, 罗太平, 朱志伟, 邓泽江, 顾澄琳, 李文雪. 光纤光学频率梳[J]. 自然杂志. 2019. 第41卷第1期:1-5
- [5] 徐彬彬. 功能金属微纳结构的飞秒激光制备与集成技术研究[D]. 吉林大学, 2013.
- [6] 闫昱. NPL:用光频梳测量光学原子钟的频率[J]. 中国计量, 2015(07):60.
- [7] 李儒新, 程亚, 冷雨欣, 曾志男, 姚金平, 曾斌, 李贵花, 张宗昕, 徐至展. 超快光学与超强激光技术前沿研究[J]. 中国科学:信息科学, 2016, 46(09):1236-1254.