



碳纳米管左右螺旋镜像体的高纯度分离

目前的碳纳米管生长技术还无法实现碳纳米管左右螺旋镜像体的选择性生长，因此生长后的碳纳米管结构分离是获得碳纳米管镜像体的唯一途径。碳纳米管的结构分离主要可以分为金属/半导体分离、单一手性分离、和镜像体分离。对比广泛研究的金属/半导体分离和单一手性分离，镜像体分离是碳纳米管结构分离的终极目标，要求更精密的分离技术，能够同时识别碳纳米管的手性和螺旋性。这导致了碳纳米管镜像体的最高分离纯度（小于90%）远低于金属/半导体和单一手性的分离纯度，限制了碳纳米管镜像体的物性探索与功能应用。因此，如何有效分离制备出高纯度的碳纳米管镜像体材料一直是碳材料研究领域的前沿热点问题，同时也是一项富有挑战性的研究课题。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心先进材料与结构分析重点实验室A05组魏小均副研究员、刘华平研究员长期致力于碳纳米管的结构分离、表征与应用【Adv. Sci. 2022, 9, 2200054】。近年来，该团队发展了高精度凝胶色谱分离技术，实现了不同种类单一手性碳纳米管的高纯度宏量分离【Sci. Adv. 2021, 7, eabe0084; Nat. Commun. 2023, 14, 2491; Carbon 2023, 207, 129】，为碳纳米管的产业化分离制备奠定了重要技术基础。

最近，该团队在开展碳纳米管长度分离的基础上，系统研究了不同长度碳纳米管镜像体和凝胶之间的相互作用力，并发现了凝胶色谱法对长碳纳米管具有更高的镜像体选择性。基于此发现，提出了一种通过控制碳纳米管长度来实现高纯度镜像体分离的策略。此外，为了减小碳纳米管原材料在分散过程中的剪切效应，采用了一种更温和的脉冲式超声模式来制备低缺陷长碳纳米管分散液。最终从该分散液中成功分离出了单一手性（6,5）碳纳米管左右螺旋镜像体，其镜像体纯度高达98%。目前的分离纯度明显高于过往所有的报道，达到了迄今为止的最高水平。分离得到的碳纳米管镜像体在圆二色光谱中展现出了完美的对称性，为今后碳纳米管镜像体的标准化表征与评价奠定了重要基础。同时，高纯度碳纳米管镜像体的成功分离制备也将开拓出一系列其性质研究与功能应用的新机遇。

以上研究成果以“Length-Dependent Enantioselectivity of Carbon Nanotubes by Gel Chromatography”为题，于4月24日在线发表于ACS Nano期刊上【ACS Nano 2023, <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c12853>】。该工作得到了中科院物理所解思深院士和周维亚研究员的支持与指导。魏小均副研究员为论文第一/通讯作者，刘华平研究员为共同通讯作者。上述研究工作得到了国家重点研发计划项目（grant nos. 2020YFA0714700 and 2018YFA0208402）、国家自然科学基金项目（grant nos. 51820105002, 11634014, 51872320, and 52172060）、中科院项目（grant no. XDB33030100, QYZDBSSW-SYS028）、以及中科院青促会（grant no. 2020005）的支持。

文章链接：<https://doi.org/10.1021/acsnano.2c12853>

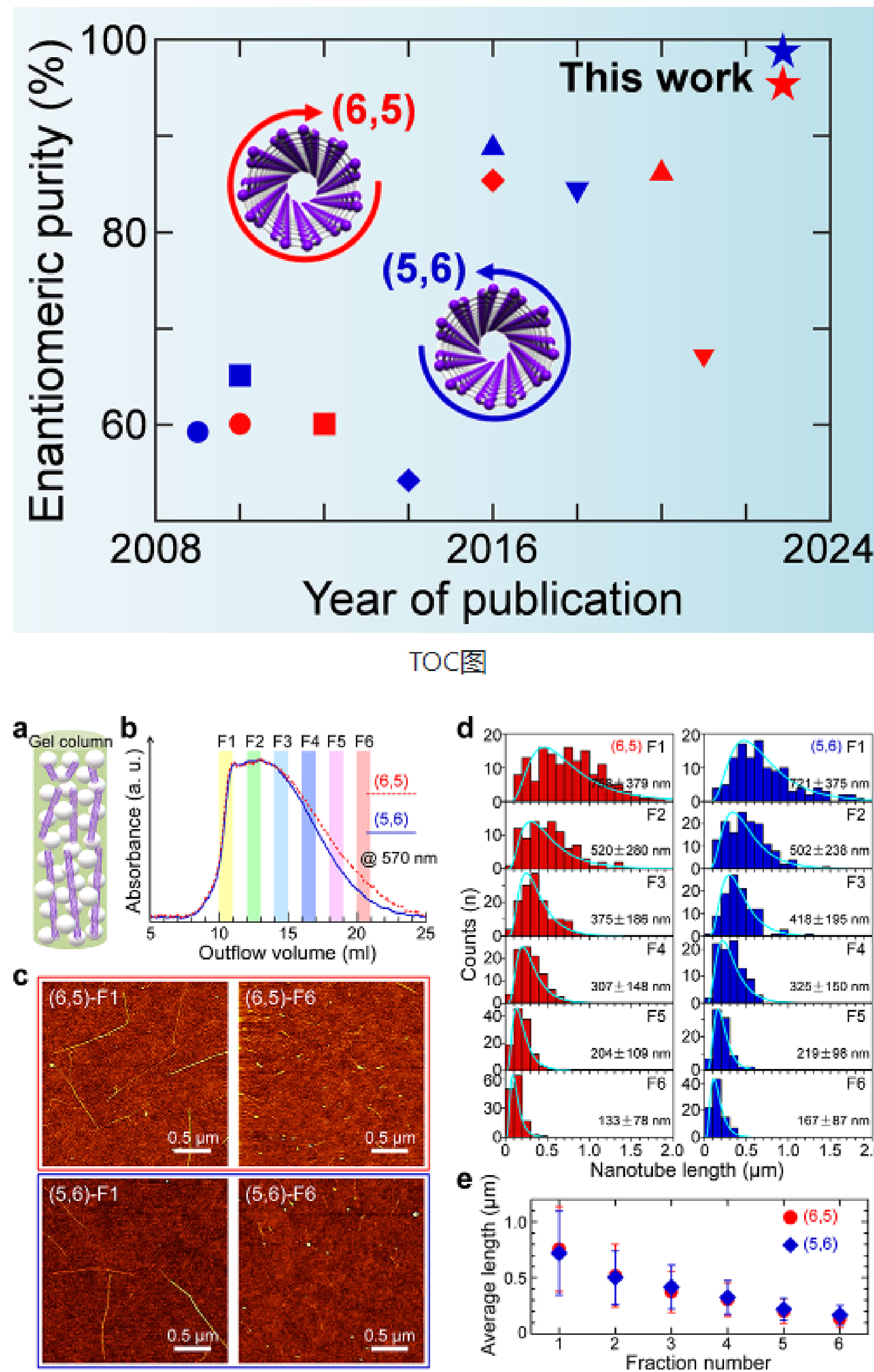


图1: (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管镜像体的长度分离与表征。(a) 基于长凝胶柱的碳纳米管长度分离示意图。(b) 流出 (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管溶液在570 nm处的色谱图。(c,d) (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管长度分离后F1和F6溶液的AFM图和对应的长度分布。(e) 长度分离后 (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管的平均长度。

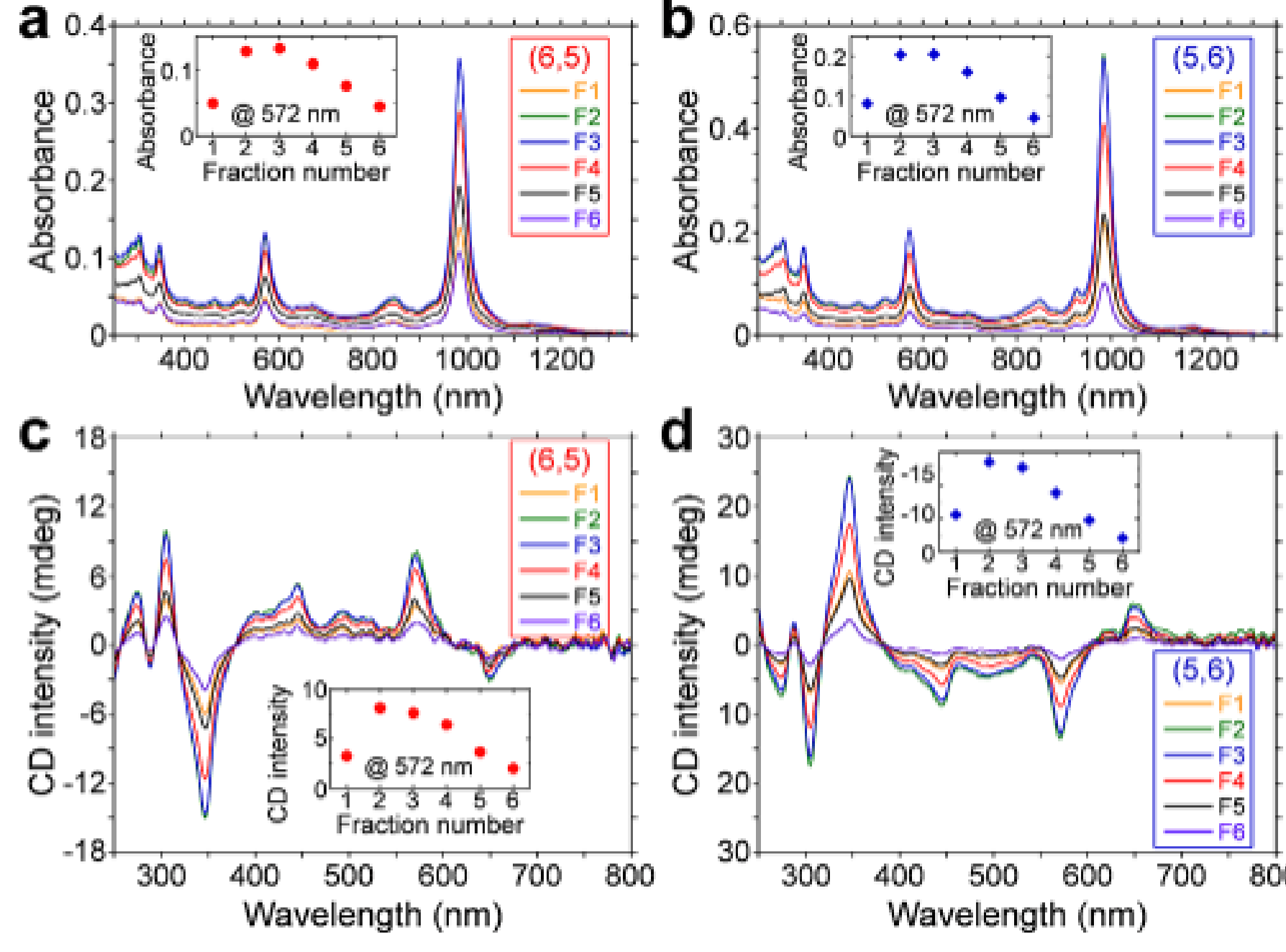


图2: (6,5) 和 (5,6) 镜像体长度分离后吸收光谱和圆二色光谱表征。(a,b) (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管长度分离后F1-F6溶液的吸收光谱。插图: F1-F6溶液在572 nm处的吸光度。(c,d) (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管长度分离后F1-F6溶液的圆二色光谱。插图: F1-F6溶液在572 nm处的圆二色强度。

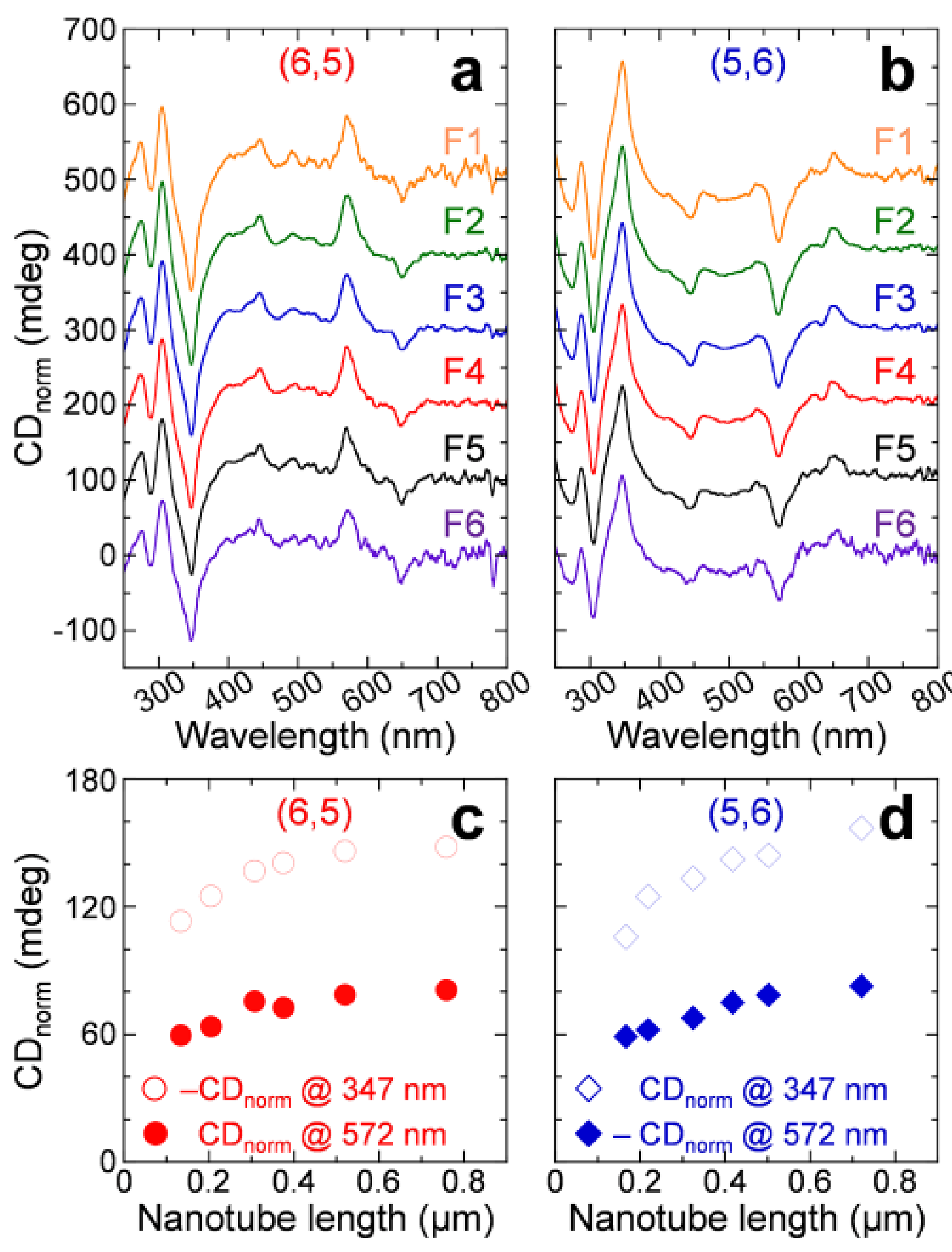


图3: 长度分离后 (6,5) 和 (5,6) 镜像体圆二色光谱强度和长度关系表征。(a,b) (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管长度分离后F1-F6溶液的E₂₂吸光度归一化后的圆二色光谱。(c,d) (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管长度分离后F1-F6溶液的E₂₂吸光度归一化后的圆二色光谱强度 (CD_{norm}) 和碳纳米管长度的关系。

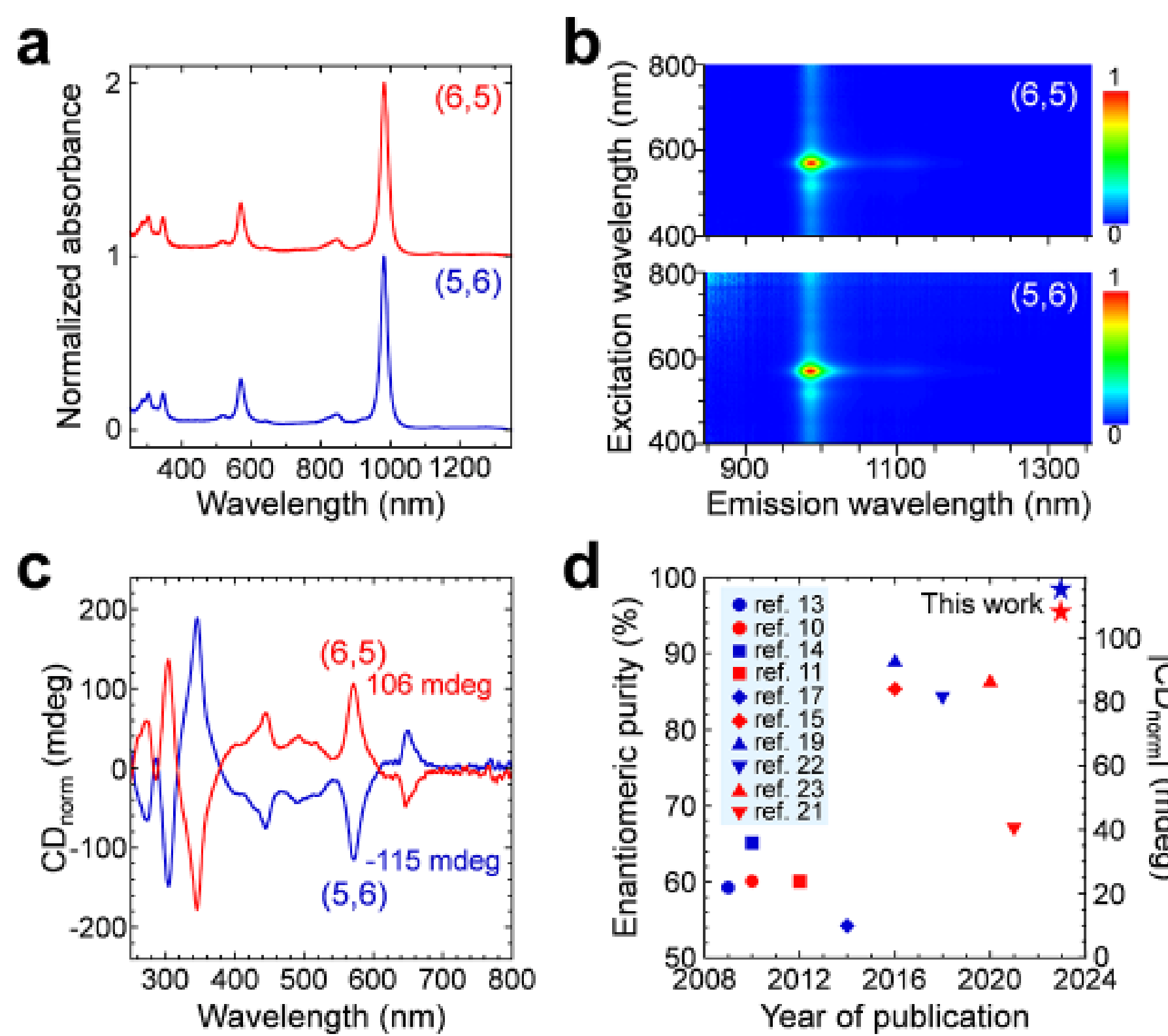


图4: 从低缺陷长碳纳米管分散液中分离得到的高纯度 (6,5) 和 (5,6) 光谱表征及镜像体纯度评价。(a? c) 从长碳纳米管分散液中分离得到的 (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管吸收、荧光、和圆二色光谱。(d) 不同方法分离的 (6,5) 和 (5,6) 碳纳米管的镜像体纯度比较。

Length-Dependent Enantioselectivity of Carbon Nanotubes by Gel Chromatography.pdf

Recent Advances in Structure Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes and Their Application in Optics, Electronics, and Optoelectronics (1).pdf