空气中产生稳定大能量1kHz白光激光

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/28003.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

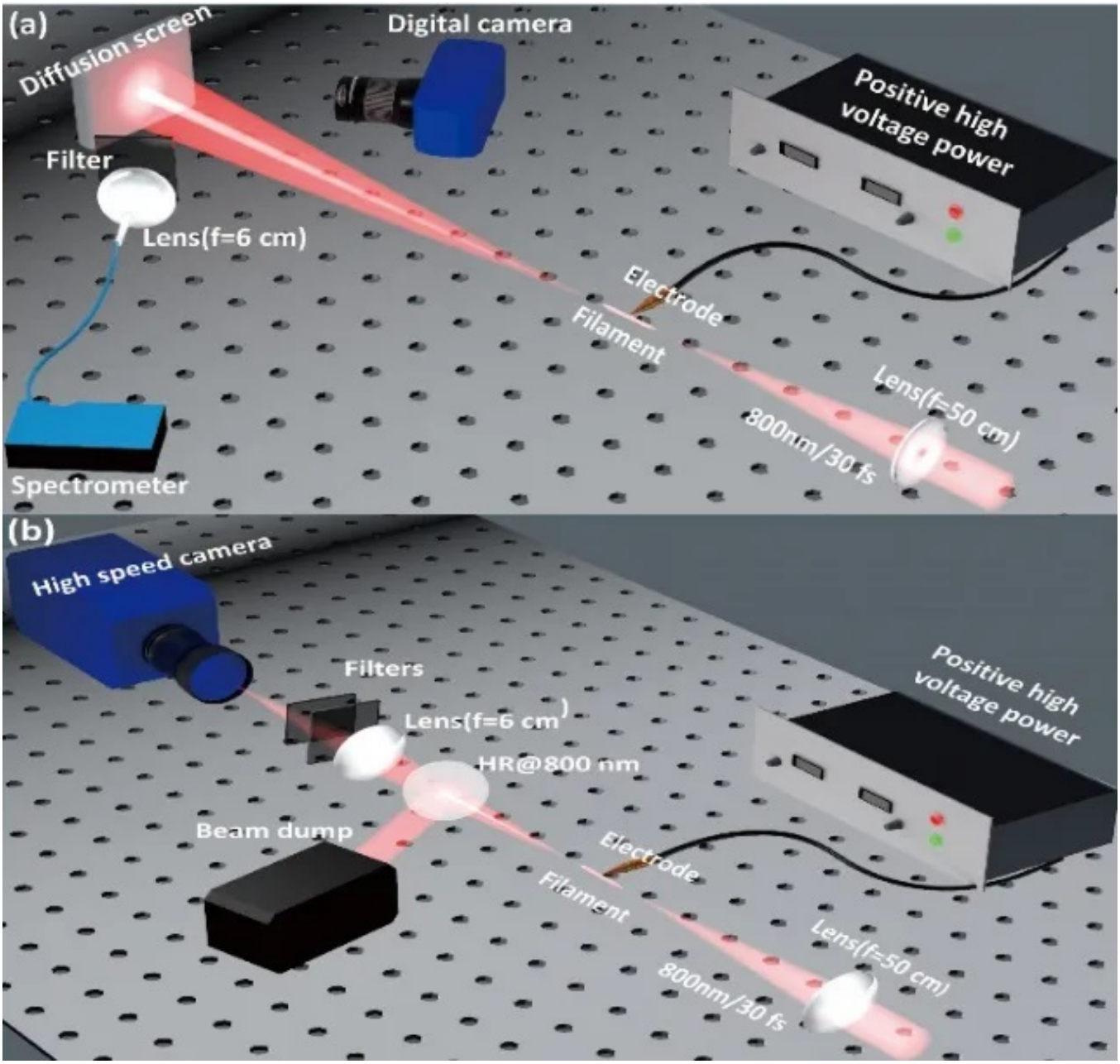
空气中产生稳定大能量1kHz白光激光。近日，中国科学院上海光学精密机械研究所李儒新院士、冷雨欣研究员、王铁军研究员团队，针对高重频飞秒激光气体成丝自抖动的瓶颈问题，提出了一种有效提升高重频飞秒光丝及超连续谱（SC）白光光源指向稳定性的方法，有效抑制了空气光丝诱导产生的超连续谱白光激光的强度和光束指向抖动，成功在空气中产生了指向和强度稳定、大能量1kHz超连续谱白光激光。研究成果对超连续谱白光激光的产生和应用以及其他基于光丝的二次辐射、成像和材料加工等应用具有重要意义。

该文章以Stable, intense supercontinuum light generation at 1kHz by electric field assisted femtosecond laser filamentation in air发表在Light: Science Applications。中国科学院上海光学精密机械研究所博士后刘尧香和尹富康博士为共同第一作者，李儒新院士、冷雨欣研究员和王铁军研究员为通讯作者，该工作得到See Leang Chin教授的悉心指导。

超连续谱白光激光因其超宽的光谱以及相干特性而备受关注，并在众多领域中有重要应用，例如超快激光脉冲的产生与压缩、高精度光学频率和时间计量、大容量信息通信、超快激光光谱和成像等。在上述应用中，超连续谱激光主要是通过固体材料或光子晶体光纤等产生，受限于固态材料的激光损伤阈值，很难产生大能量超连续谱白光激光。

通过飞秒激光气体成丝产生的超连续谱白光可以突破固体材料激光损伤的局限，进而产生大能量的超连续谱光源。但随着成丝激光脉冲重复频率的升高（如达到千赫兹），光丝在气体中（如空气）的热扩散（毫秒量级）过程使得光丝区域内空气密度降低，脉冲累加产生热致气流扰动效应，导致高重频激光气体成丝的指向性抖动增加，给高重频飞秒激光成丝及其超连续谱光源应用等带来了挑战，已经成为高重频激光气体成丝领域公认的瓶颈问题。

从光丝热致抖动的根源出发，研究团队创新性地提出了在光丝上加载外部高压直流电场（如图1），通过外部直流电场抑制光丝等离子体复合并延长其寿命，使得在脉冲间隔时间内因等离子体复合沉积在空气中的热量减少，从而降低热扩散造成的气流扰度强度，在高电场下通过电晕放电产生的稳定的离子风克服光丝自扰动气流。


(a)
Diffusion screen
Digital camera
Positive high voltage power
Filter
Lens(f=6 cm)
Electrode
Filament
Lens(f=50 cm)
800nm/30 fs
Spectrometer
(b)
High speed camera
Filters
Lens(f=6 cm)
HR@800 nm
Positive high voltage power
Beam dump
Electrode
Filament
Lens(f=50 cm)
800nm/30 fs

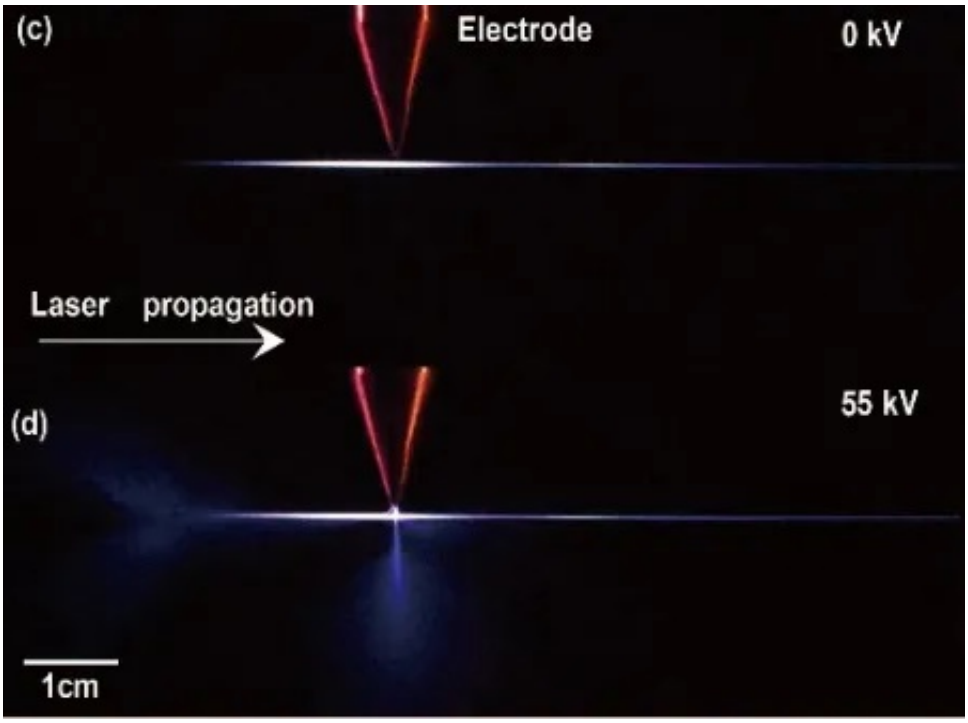


图1：（a）（b）实验装置示意图。（c）（d）未加载与加载直流高压电场（55kV）时光丝及光丝诱导电晕的真彩图像。（e）（f）为未加载与加载直流高压电场（15kV）时的前向光斑。

实验结果表明：在1kHz飞秒激光空气成丝附近施加高压直流电场后，光丝及前向超连续谱白光激光的光斑位置分布范围显著减小，即指向稳定性提升（图2）。

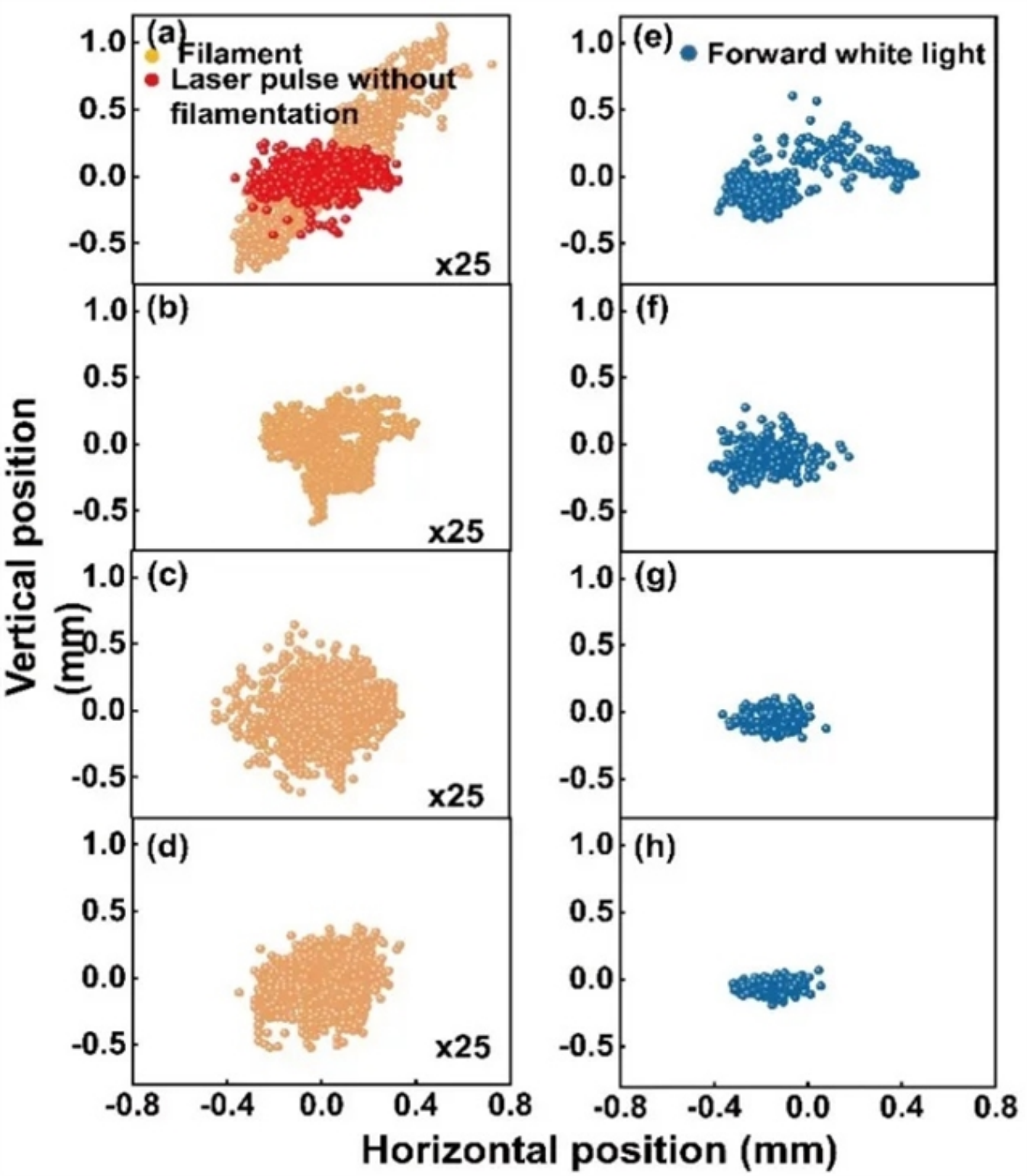


图2：不同高压下，光丝（a-d）及对应前向白光（e-h）光斑的位置分布图。(a-d）放大了25倍，以便与（e-h）进行比较。(a)(e) 0 kV；(b)(f) 2 kV；(c)(g) 30 kV；(d)(h) 50 kV。在未成丝、无高压时，泵浦光自由传输的光轴位置定义为（0，0）

实验发现高重频光丝及前向超连续白光的空间指向稳定性提高了至少2倍（图3）。

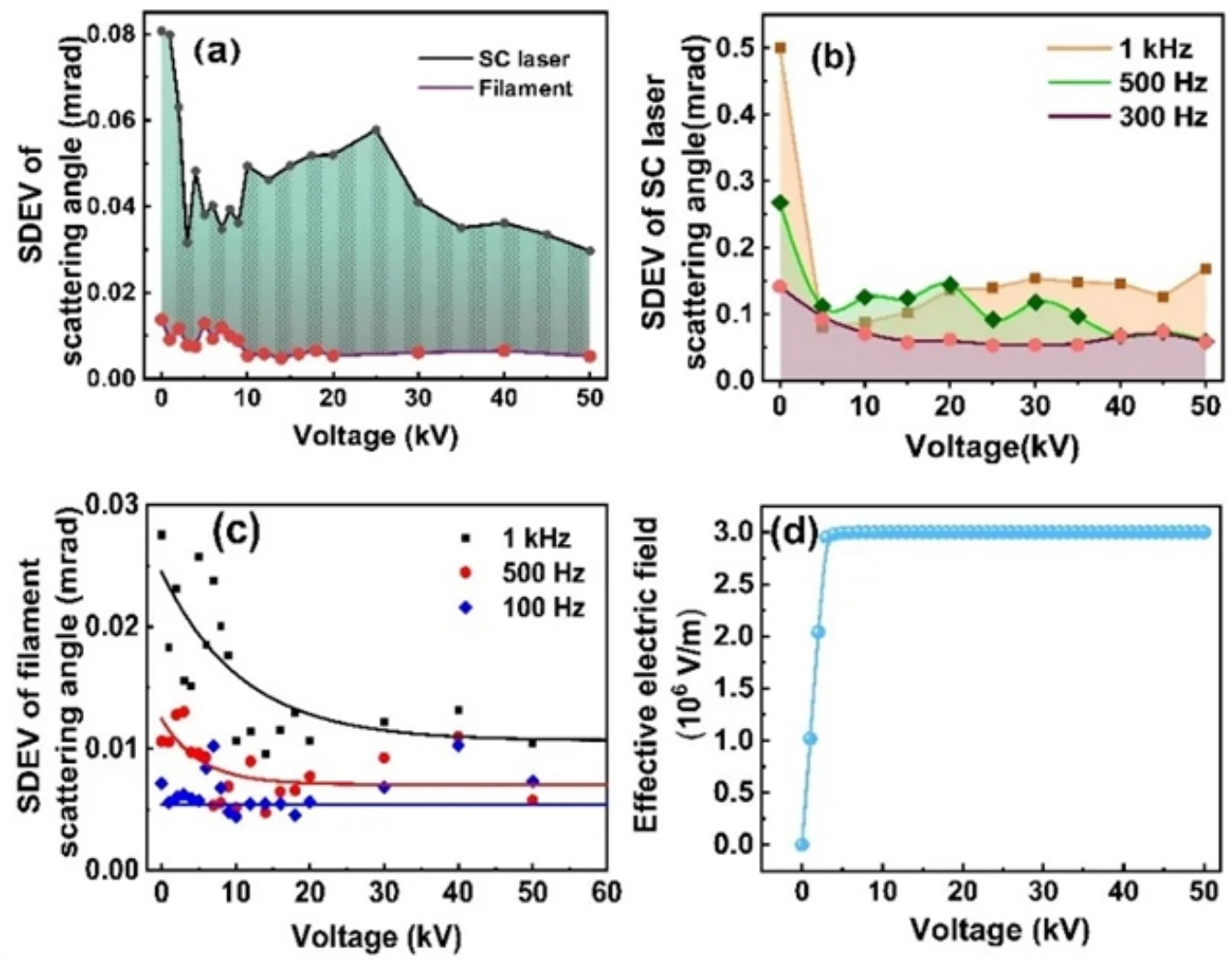


图3 ：(a) 1 kHz时前向超连续谱白光激光和光丝指向角的标准差（SDEV）与外加高压的函数关系。（b）不同激光重复率下，前向SC光（b）和光丝（c）散射角SDEV。（d）施加在光丝上的有效电场随加载高压的变化关系。

同时，发现等离子体光丝和前向超连续谱白光指向位置也会在电场作用下发生移动（图4），进而证实了外电场与光丝等离子体间库伦相互作用的物理机制。

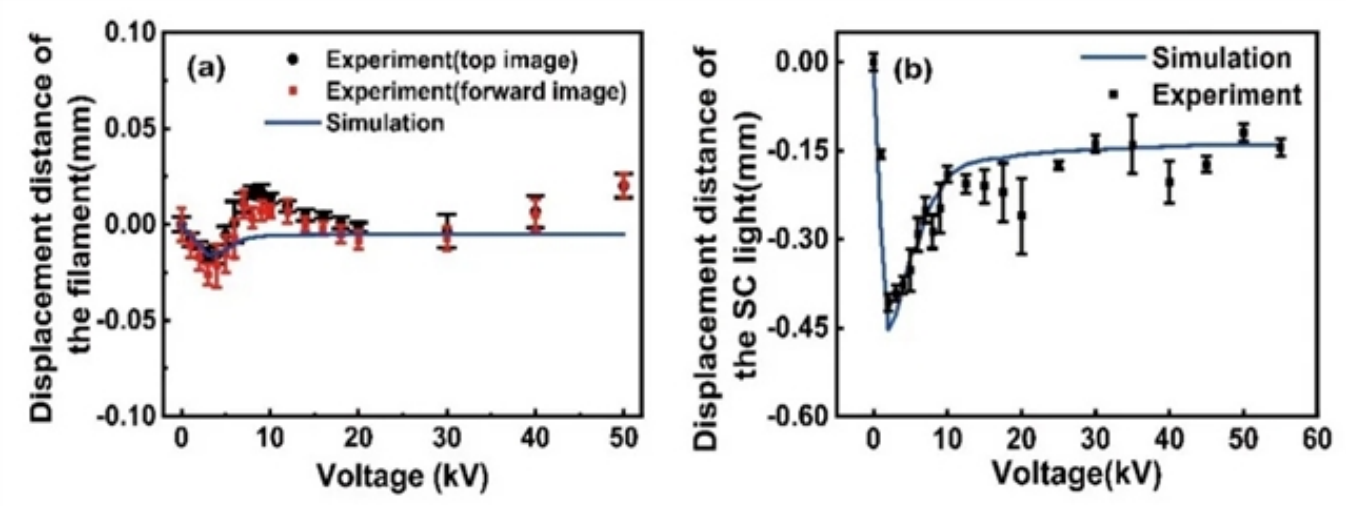


图4：在不同正高压时，（a)前向超连续谱白光和(b)光丝位移量的实验与模拟结果。位置"0"表示无外加高压时的初始平均位置，负位移是指光丝靠近电极。

此外，超连续谱白光光谱强度的稳定性也得到显著提升（图5），利用1 kHz/6.54 mJ飞秒激光脉冲在空气中成丝，得到了3.55 mJ 稳定的超连续谱白光光源。

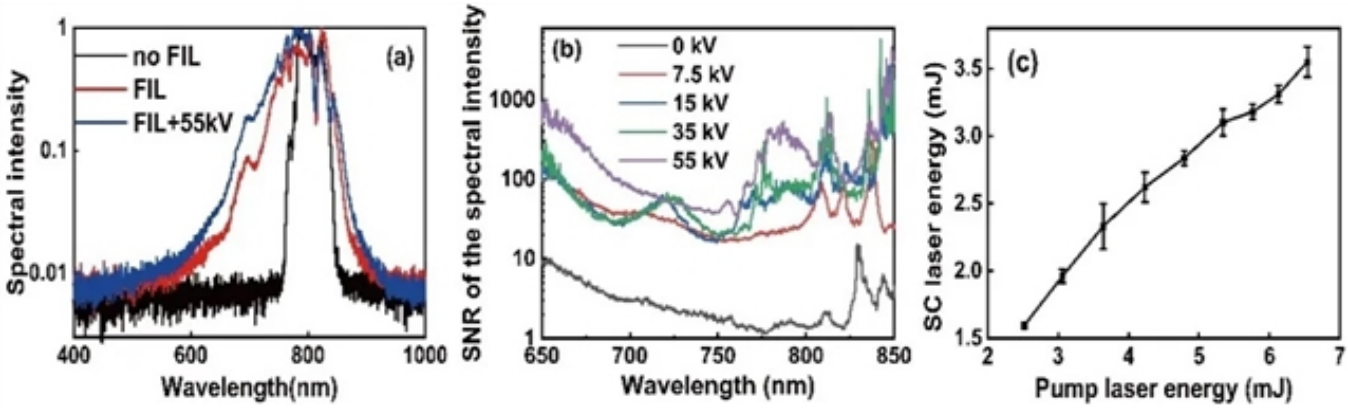


图5：(a)有（FIL+55 kV）和无（FIL）外直流高压时前向超连续谱白光光谱对比，未成丝（noFIL）初始激光光谱作为参考。(b)不同外加高压下，超连续光谱强度的信噪比（1 kHz）。(c)超连续谱白光激光能量与泵浦激光能量的函数关系（聚焦透镜焦距为1m）。

该工作成功解决了目前高重频飞秒激光气体成丝的指向和强度抖动问题，此方法也适用于其它波段激光气体成丝，研究成果不仅为空气中产生高重频稳定大能量超连续白光光源开辟了道路，也为基于高重频光丝的二次辐射源、成像和材料微加工等其他应用拓展了新的机遇。（来源：Light ScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-023-01364-3

作者：李儒新等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发