
半无限气体池中实现孤立阿秒脉冲产生

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/30932.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！

半无限气体池中实现孤立阿秒脉冲产生。 导读

自2001年首次演示以来，隔离阿秒脉冲（IAPs）的产生和操控为原子、分子以及固体中的电子动态跟踪提供了突破性的工具。然而，传统的高阶谐波产生技术在生成隔离阿秒脉冲方面存在限制，尤其是在长介质低压的条件下。这些条件通常被认为不适宜于IAP的产生。这些限制促使研究者探索新的机制和方法，以便在更宽松的条件下实现高效的IAP产生。

为了克服这些挑战，团队提出了一种基于时间门控相位匹配的新方法，该方法利用了半无限气体池的扩展介质特性（见图1a），以实现有效的IAP产生。研究者们开发了一种先进的模拟技术，结合了非线性传播和宏观高阶谐波产生的三维时间依赖性薛定谔方程，来模拟和优化产生过程。这种方法不仅提供了对实验现象的深入理解，而且通过实验验证了其在实际应用中的有效性，为阿秒科学技术的发展和应用开辟了新的可能性。

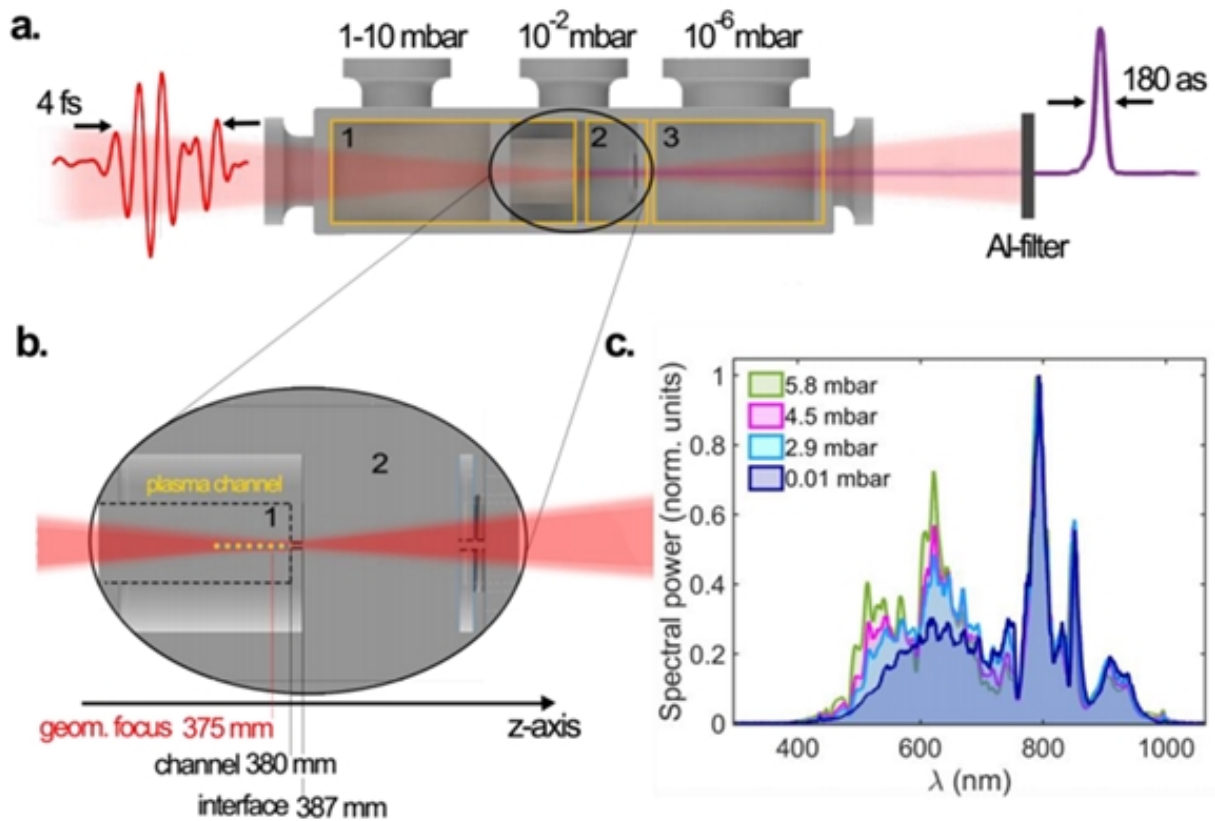


图 1 : (a) 展示了半无限气体池的示意图，包括三个主要区域：第一个区域用于与氩气（Argon）相互作用并生成高阶谐波，第二个区域通过一个可调节的机械元件与第一个区域相连，第三个区域是高真空区域。(b) 详细展示了第一个和第二个腔室周围的区域，包括一个7毫米长的通道，该通道连接了第一个腔室和中间的一个腔室，并且在几何焦点附近出现了明亮的等离子体通道。(c) 展示了在不同操作压力下，通过标准光谱仪测量得到的红外驱动场在半无限气体池输出端的光谱。

该成果近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为 Isolated attosecond pulse generation in a semi-infinite gas cell driven by time-gated phase matching, 是Light米兰理工专刊邀请文章。米兰理工大学物理系的F. Vismarra和D. Mocci，西班牙萨拉曼卡大学的M. Fernández-Galán为论文的共同第一作者，M. Nisoli、C. Hernández-García和R. Borrego-Varillas为论文的共同通讯作者。

难点与挑战

该研究的技术难点主要在于如何在半无限气体池中有效产生IAPs（如图1）。首先，高阶谐波产生技术通常在短介质和高压条件下进行，这有利于相位匹配和脉冲产生。然而，在长介质和低压力的条件下，非线性现象如自聚焦和等离子体形成可能会干扰相位匹配，从而挑战IAPs的产生。这些现象在长介质中尤为显著，因为它们会影响驱动激光场的传播和高阶谐波的产生效率。

其次，为了在半无限气体池中产生IAPs，需要精确控制和理解非线性传播过程中的复杂动力学。这包括对激光脉冲在气体介质中的时空演化进行精确模拟，以及如何通过非线性过程有效地转换和放大这些脉冲。此外，实验中需要精确的激光系统参数调整，包括脉冲能量、聚焦条件和气体

压力，以优化相位匹配并抑制可能的非线性效应。这些挑战要求开发新的理论模型和数值方法，以及对实验设置进行精细的调整和控制。团队通过开发一种结合了非线性传播模拟和宏观高阶谐波产生的三维时间依赖性薛定谔方程的模拟方法，来克服这些难点，并在实验上验证了其有效性。

创新研究

1.对IAPs产生机制的突破性探索

研究团队通过实验方法在半无限气体池中成功产生了IAPs（如图2），这一成就是在一个通常被认为不利于IAPs产生的长介质低压环境中实现的。他们利用时间门控相位匹配技术，有效地克服了这一挑战，并通过开发一种新的三维模拟方法（如图3），结合了非线性传播模拟和宏观高阶谐波产生，在微观层面上对高阶谐波产生过程进行了精确模拟。这种方法不仅解决了现有技术在模拟复杂非线性动力学时的局限性，而且通过实验验证了其有效性，为理解和优化IAPs的产生提供了新的理论基础。

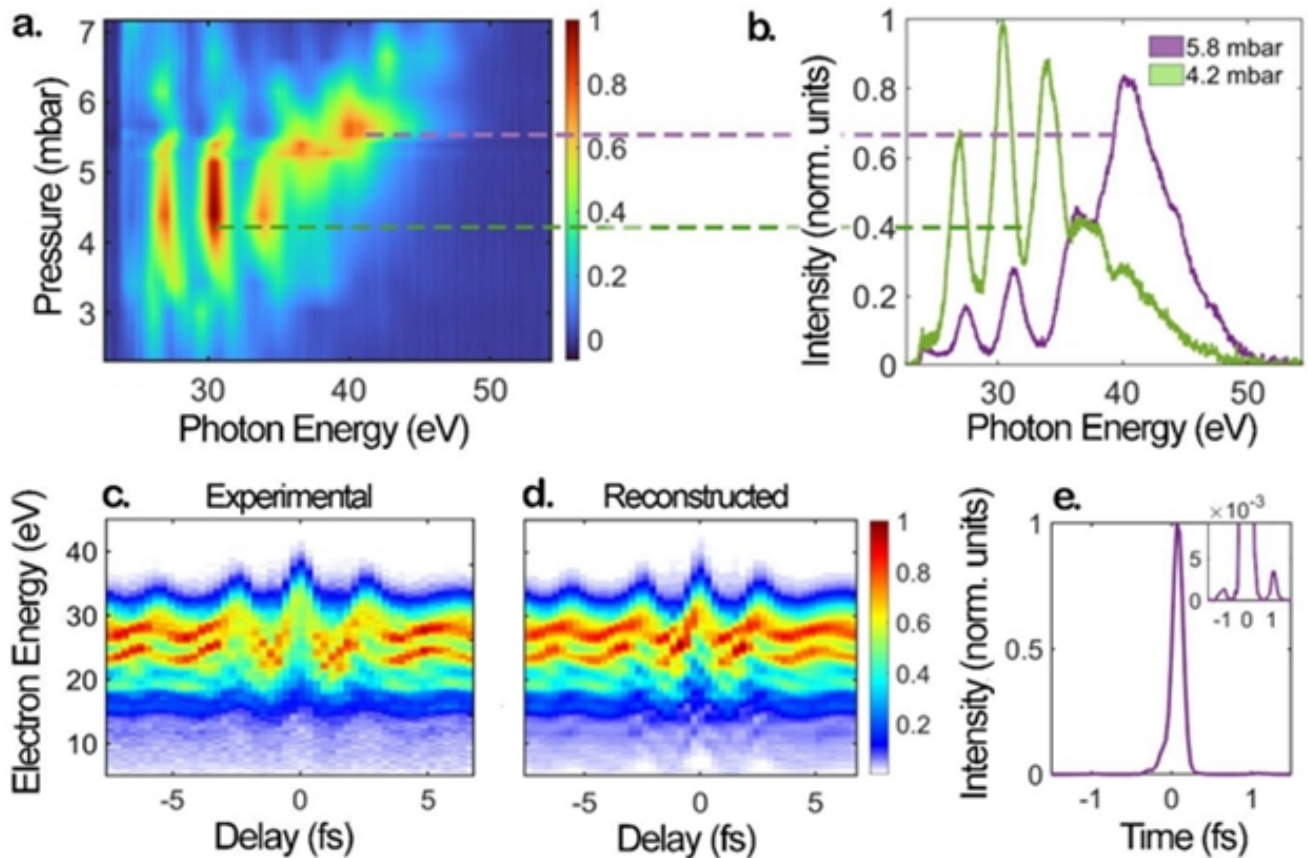


图 2 : (a) 展示了随着气体压力变化，XUV脉冲光谱的演变。(b) 展示了两个特定压力值下的光谱，分别是4.2 mbar (绿色曲线) 和5.8 mbar (紫色曲线)。(c) 展示了在5.8 mbar压力下，使用频率分辨光学门控 (FROG CRAB) 或称为streaking技术测量得到的实验streaking trace。(d) 展示了使用扩展的衍射迭代引擎 (ePIE) 算法重建的streaking光谱图。(e) 展示了重建的XUV强度轮廓，显示了一个干净的IAP，持续时间为180阿秒。插图显示了<1%的IAP卫星结构。

图 3 : (a) 极紫外谱随气体压力变化的模拟结果。(b) 在 2 mbar (蓝色)、6 mbar (绿色)、10 mbar (橙色) 和 14 mbar (暗红色) 压力值下，对 (a) 中虚线表示的高阶谐波产生光谱子集进行傅里叶变换后获得的轴上 IAP。

2. 对非线性传播过程中自调节机制的发现和利用

研究揭示了在半无限气体池中，由于非线性效应导致的驱动场时空重构，如何作为一种自调节机

制，优化了相位匹配条件并促进了IAPs的产生。这种机制通过降低激光驱动场的峰值强度，减少由于高强度引起的非线性效应，从而在实验中实现了更稳定和高效的IAPs产生。此外，研究者们还展示了通过调整气体压力来精确控制相位匹配窗口的方法，如图4所示，这为通过改变激光脉冲参数和聚焦光学元件来适应不同实验条件提供了灵活性，使得半无限气体池成为在不同研究领域中的应用IAPs技术的有吸引力的候选方案。

图 4: (a) 展示了在不同压力下，计算得到的25次谐波在半无限气体池输出端的相位失配时间导数的分析估计。(b)在6 mbar压力下，25次谐波的相位失配时间导数的二维表示。

总结与展望

这项研究为阿秒脉冲的产生和应用开辟了新的道路。半无限气体池的简单性、可调性以及高能激光脉冲的适应性，使其成为扩展IAPs技术应用范围的有吸引力的候选方案。预计这些成果将推

动阿秒科学技术在更广泛领域的应用，包括但不限于超快化学、材料科学、光电子学以及精密测量学。此外，随着技术的进步和应用的深入，半无限气体池可能会成为高能、高重频阿秒光源的关键技术，为探索极端非线性光学和强场物理提供新的平台。论文的发现还可能激发新型实验设计和模拟方法的发展，进一步优化IAPs的产生过程，提高其在科学研究和工业应用中的实用性。
(来源：LightScienceApplications微信公众号)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01564-5>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：M. Nisoli 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](https://www.iikx.com)转发