

非晶硅超表面增强三次谐波产生

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/23459.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！

非晶硅超表面增强三次谐波产生。在过去的几十年，非线性光学是一个活跃的研究领域，提供了高次谐波产生、自发参量转换、受激拉曼散射、非线性Kerr效应等物理现象的研究基础。近年来，利用超表面在亚波长尺度上增强非线性光的产生，因其超薄紧凑的外形和与现代集成光子学相关的先进功能而引起了广泛关注。

近日，来自德国帕德博恩大学的科学家David Häfner等人提出了一种由椭圆纳米谐振器组成的非晶硅超表面来增强三次谐波产生(THG)，证明了这种增强源自一种新型的多模态Fano机制。利用全波模拟对这些超级-Fano共振进行了详细的数值研究，通过线性和非线性透射光谱对理论预测的超表面行为进行了实验验证。在 1.2 GW cm^{-2} 的峰值功率强度下，绝对转换效率高达 $\eta_{\text{max}} \approx 2.8 \times 10^{-7}$ ，与相同厚度的无图案硅薄膜相比，放大系数高达~900，为开发高THG的超表面Fano型多模耦合的潜在应用铺平了道路。

研究背景

共振型等离子超表面已被广泛用于增强高次谐波的产生。然而，它们通常具有相对较低的非线性表面敏感性、金属欧姆耗散引起的高吸收损失、较低的损伤阈值。作为一种替代方法，通过在由高折射率材料制成的纳米粒子中定制光学诱导的Mie型共振来显著增加光-物质相互作用。通过改变纳米粒子的大小和形状，可以对丰富多样的电和磁多极共振进行光谱定制，例如激发Fano共振、非辐射模式、以及与连续体中束缚态(BIC)相关的共振，这些共振具有超高品质因数。从而，介电超表面支持的高品质模式，加上与等离子器件相比可忽略不计的欧姆损耗、低热量和高可激发模式容量，使其在高效非线性光产生方面获得新兴应用。目前，基于BIC原理的硅纳米谐振器或锗、砷化镓、砷化铝镓、氧化锌等具有高非线性磁化率材料的超表面，已被应用于具有显著增强的谐波生成过程。

研究创新

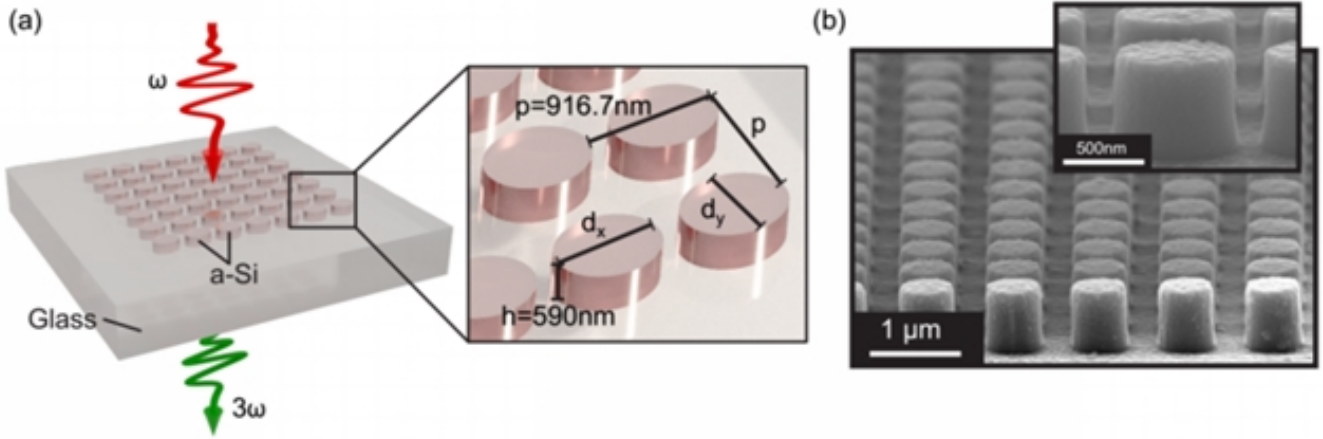


图1 增强THG的全介电超表面及其参数示意图。制备的硅天线SEM图像。

超表面由玻璃基板上的非晶硅椭圆柱周期性排列组成如图1所示。晶格常数 $p = 916.67$ nm的，高度 $h = 590$ nm， d_x 和 d_y 在 $350 \sim 850$ nm范围内变化。

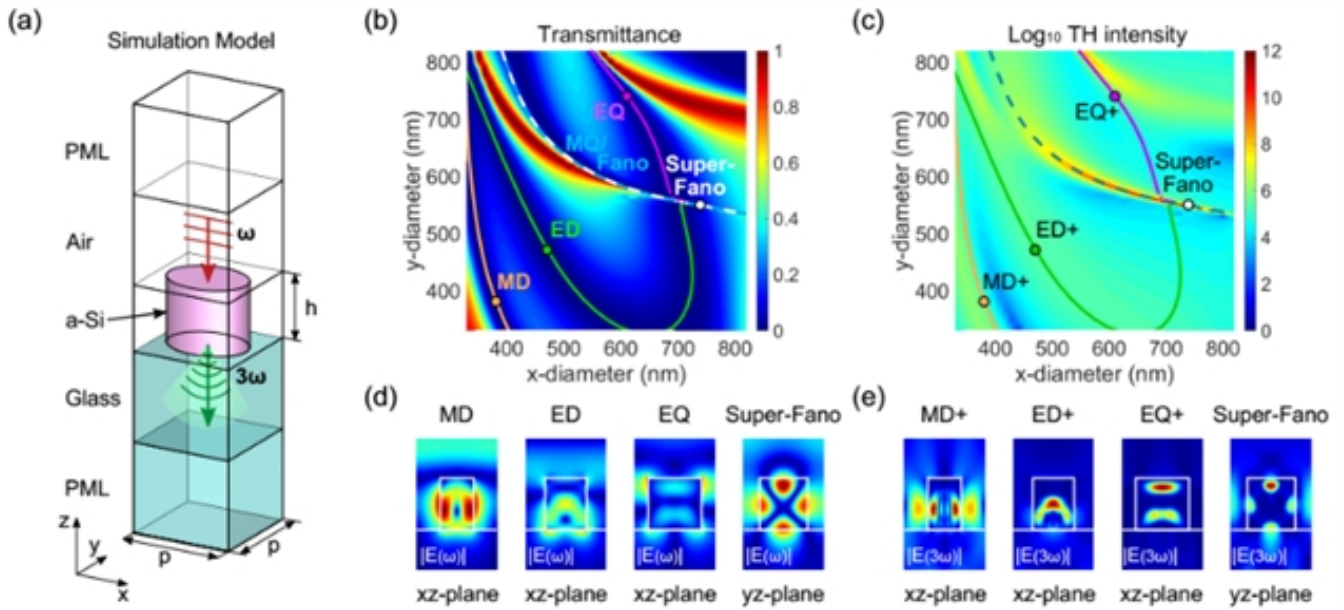


图2 (a)单元模拟模型。(b)透射率。(c)三次谐波强度。(d,e)计算的不同谐振器的电近场模式图，图中(d)泵浦(1560 nm)和(e)三次谐波(520 nm)波长。周期 $p = 916.67$ nm，谐振腔高度 $h = 590$ nm，直径 $d_x = 740$ nm和 $d_y = 550$ nm所产生的三次谐波最大值用"Super-Fano"表示。

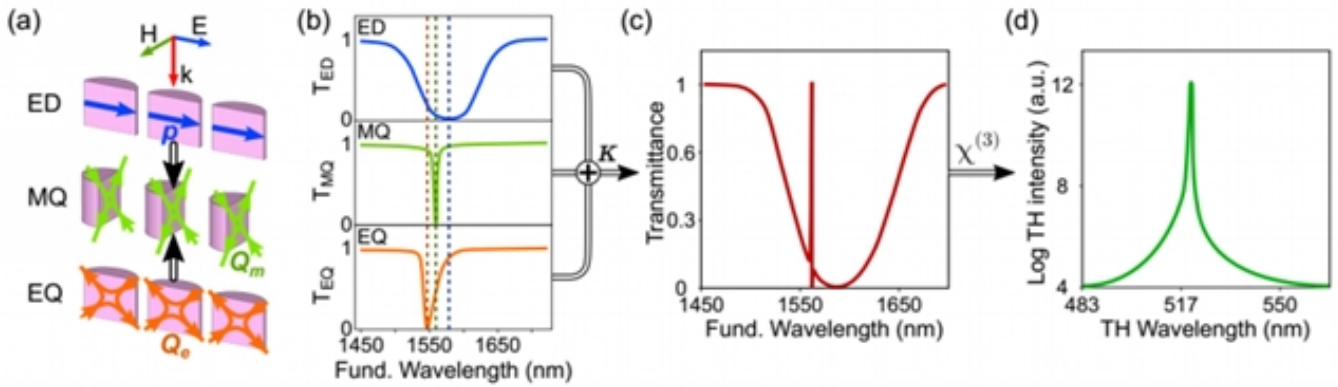


图3 (a) Super-Fano共振机制增强三次谐波产生说明。(b)与相应模式相关联的透射谱形成的单一共振。(c)三种模式与强度 κ 的耦合由此产生的透射光谱，形成类 Fano 的尖锐不对称共振轮廓。(d)相应的高强度三次谐波光谱。

线性透射率数值计算结果如图2b所示。该图揭示了具有多个Mie共振模式，当它们在参数空间内靠近时会相互影响。图2d显示了在 $y=0$ 时共振的电场振幅图 $E(\omega)$ 。图中的四个区域分别为磁偶极子(MD)、电偶极子(ED)、磁四极子(MQ)和电四极子(EQ)模式。其中磁四极子模式(蓝色)与几乎平行的电偶极模式(绿色)相互作用，形成经典的不对称Fano共振特征，由MQ/Fano标签表示。MQ/Fano共振与电四极子模式(品红)共振紧密联系，在该点获得了最尖锐的Fano共振特征和最强的THG发射，在图2b中标记为Super-Fano共振点。

这种独特的Fano共振的形成如图3所示。激发的共振与耦合强度 κ 干涉，在所得透射光谱(图3c)中形成典型的不对称共振曲线，进而产生强烈的三次谐波发射(图3d)。各个共振的宽度和光谱位置以及Fano共振可以通过改变椭圆直径 dx 和 dy 进行调整。

三次谐波产生信号的计算强度和图2透射率图中模式的轮廓线叠加如图2c所示。图中发现三次谐波(TH)增强特征严格遵循MQ/Fano模式路径，表明它们是产生高次谐波辐射的主要影响。此外，显示的三次谐波处的电场振幅图表明，与其他共振处更靠内的热点相比，THG热点相对靠外的位置支持增强的TH发射。TH强度跨越12个数量级，在该区域中MQ/Fano与ED和EQ模式的交叉点附近发现了最高强度，其中存在Super-Fano模式。此处 $dx = 740 \text{ nm}$ 和 $dy = 550 \text{ nm}$ 。

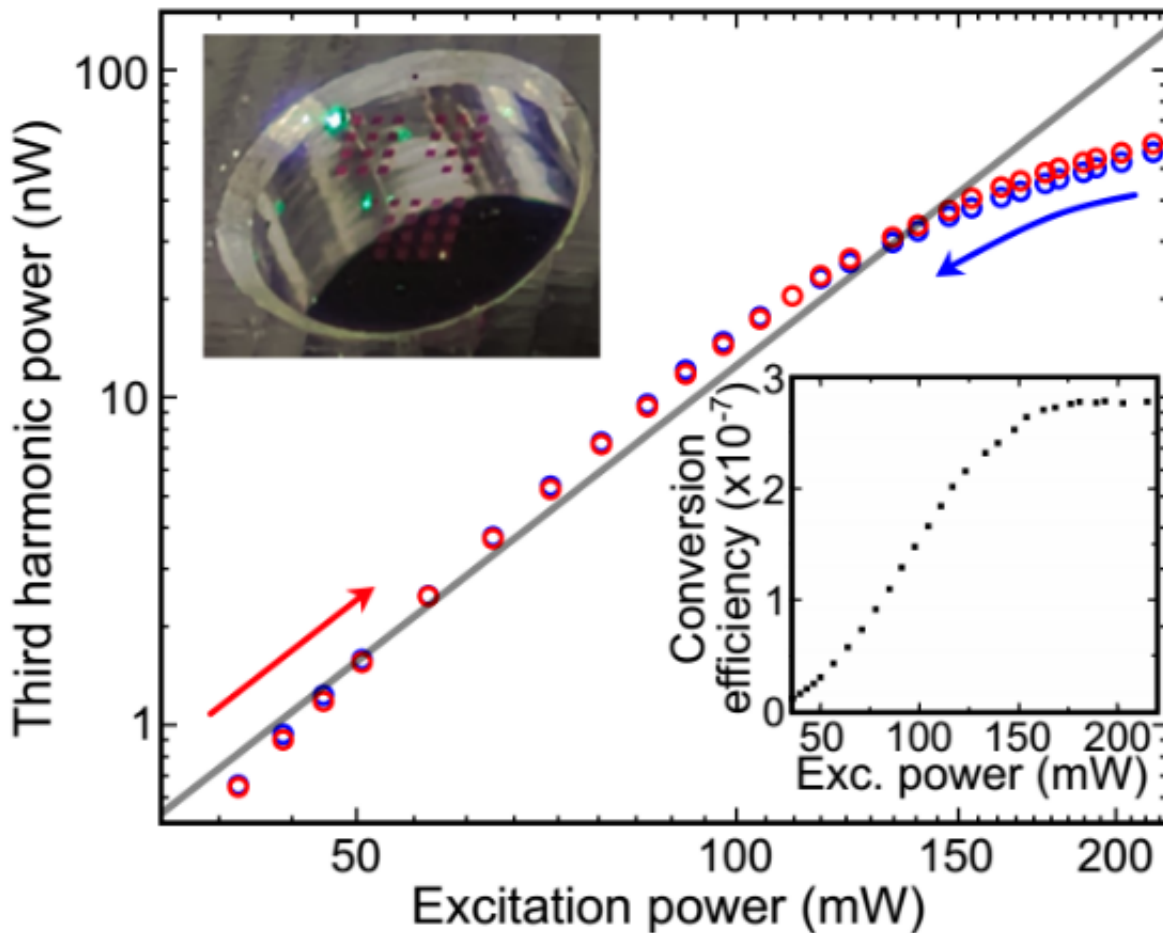


图4 三次谐波功率作为泵浦功率的函数。

图4为三次谐波作为泵浦功率函数曲线。红色和蓝色圆圈分别对应于逐渐增加或减少的泵浦功率。灰线代表三次定律。右下角的插图显示了作为泵浦功率函数的转换效率。左上角的插图显示了样品在1560 nm泵浦波长下发射的三次谐波绿光。

结果表明，由非晶硅制成的周期性排列的椭圆形纳米谐振器阵列由于 Fano 共振表现出强烈的光-物质相互作用。理论计算表明，这些Fano共振是由磁四极子和电偶极子之间耦合的结果。正如理论预测的那样，强光物质相互作用可用于极大地增强三次谐波的产生，特别是另外与电四极子模式相互作用所导致的Super-Fano模式。

该文章以A Multi-Mode Super-Fano Mechanism for Enhanced Third Harmonic Generation in Silicon Metasurfaces为题发表在Light: Science Applications 期刊上。David Hänel为本文的第一作者和通讯作者，Christian Golla为本文的共同通讯作者。(来源：LightScienceApplications微信公众号)

相关论文信息：† <https://www.nature.com/articles/s41377-023-01134-1>

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等事宜, 请与我们联系。

作者: David Hahnel 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