

---

# 自由空间高品质因子纳米光子学

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/34959.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！*

自由空间高品质因子纳米光子学。 导读

在纳米光子学领域，如何实现可以通过自由空间激发的高品质因子模式是基础研究和工程应用方面长期以来面临的挑战。浙江大学的李强教授和西湖大学仇旻教授团队总结了实现高品质因子模式的物理机制，回顾了近期在利用自由空间光激发高品质因子模式方面的研究进展和应用，并讨论了该领域当前面临的挑战和未来的展望。

相关综述以Free-space high-Q nanophotonics为题发表在国际顶级期刊《Light: Science and Applications》。

研究背景

近年来，纳米光子学领域的飞速发展为人们亚波长尺度上操控光的光谱、偏振和相位提供了可能，从而促进了光学器件朝着微型化和集成化发展。如何提高光学模式的品质因子已成为当前的研究热点。高品质因子模式可以赋予光学设备更高的光谱分辨率、更大的灵敏度、更快的调制速度以及更强的光-物质相互作用。虽然现有研究利用片上微盘谐振器，可以在实验中实现约 $10^9$ 的高品质因子，但这些高品质因子模式通常需要通过光纤的近场耦合进行激发。相比之下，利用自由空间光激发高品质因子模式仍然是当前实验中面临的重要挑战。

近期，浙江大学李强教授和西湖大学仇旻教授团队以Free-space high-Q nanophotonics为题在《Light: Science and Applications》发表一篇综述文章，聚焦于利用自由空间光激发高品质因子模式的研究。归纳其物理机制，总结研究进展，讨论实际应用，展望研究前景，为高品质因子纳米光子学器件的设计提供了参考，如图1所示。

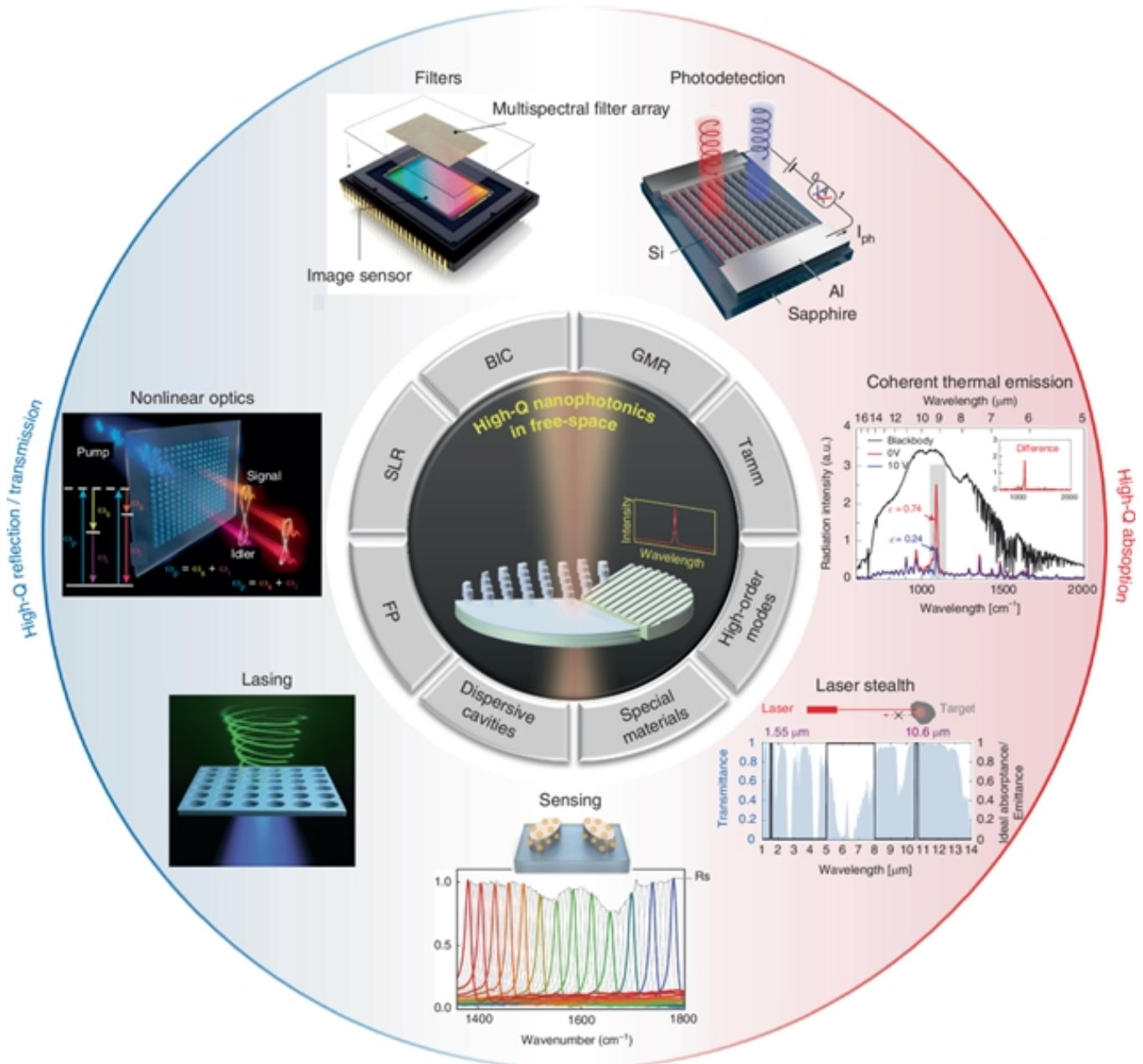


图1. 自由空间高品质因子模式物理机理及应用概述图

### 物理机制

为了实现高品质因子模式，需要在设计和实验中尽可能降低器件的辐射损耗和吸收损耗。降低辐射损耗的物理机制包括：连续态中的束缚态（BICs）、导模共振（GMRs）、表面晶格谐振（SLRs）、高阶谐振模式、Tamm等离激元模式、法布里-珀罗（FP）谐振模式以及利用色散材料等。为了降低吸收损耗，可以使用特定材料，例如超导材料或增益材料等。如图2所示。

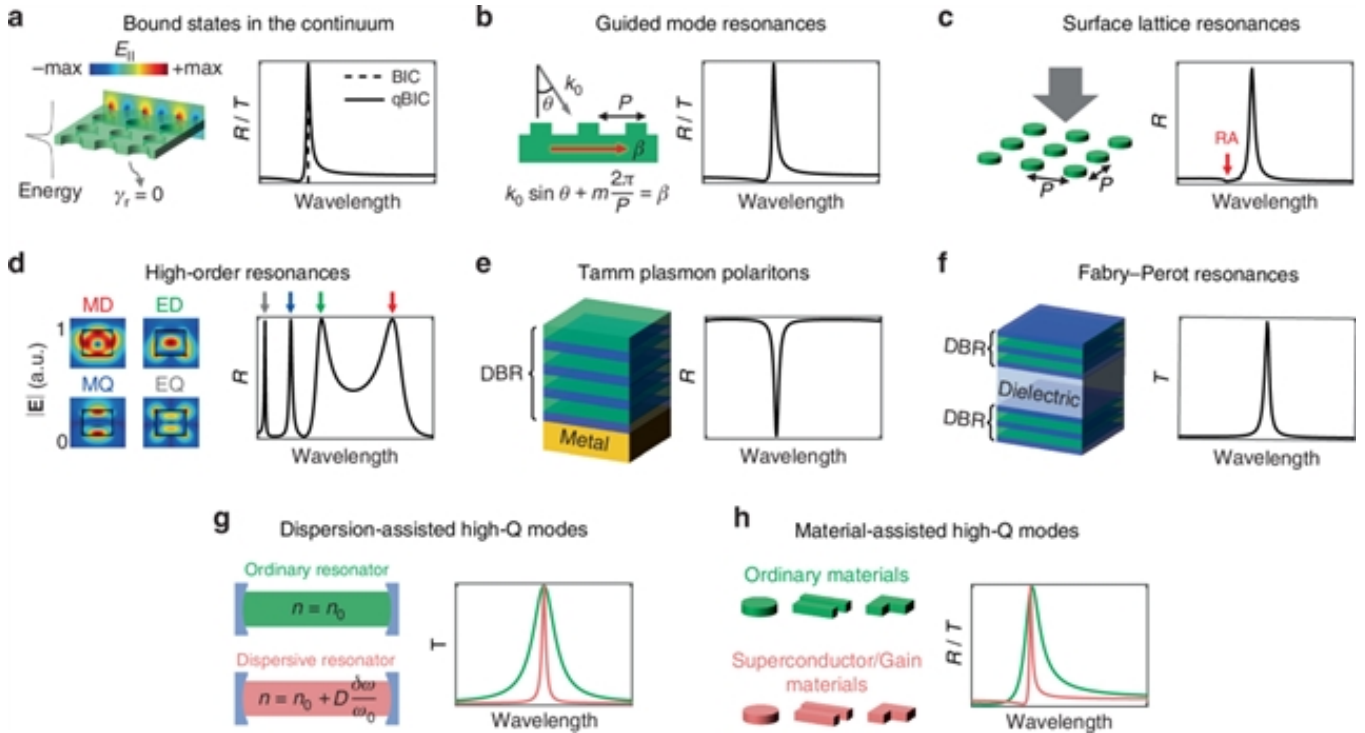


图2. 高品质因子模式物理机制

## 应用

**传感：**高品质因子模式可以提升器件的光谱灵敏度，可应用在在低浓度物质检测、生物分子识别等领域。

**滤波：**通过选择性透射或反射特定波长的光达到滤波的效果，可应用在光谱仪等领域。

**激光：**增强光与物质相互作用，从而降低激光器阈值。

**非线性光学：**高品质因子模式对与电磁场的增强可以显著增强器件的非线性效应，从而提高二次谐波等的转换效率。

**光电探测：**实现特定波长的光电探测，并提高探测信号的强度。

**相干热辐射：**调控器件的辐射率，从而使热辐射源辐射特定波长的热辐射。

**隐身：**吸收特定波长的探测光以减少反射信号的强度，从而实现隐身。

**超分辨成像：**利用高品质因子波导模的倏逝波，可突破传统光学分辨率极限，实现亚波长超分辨成像。

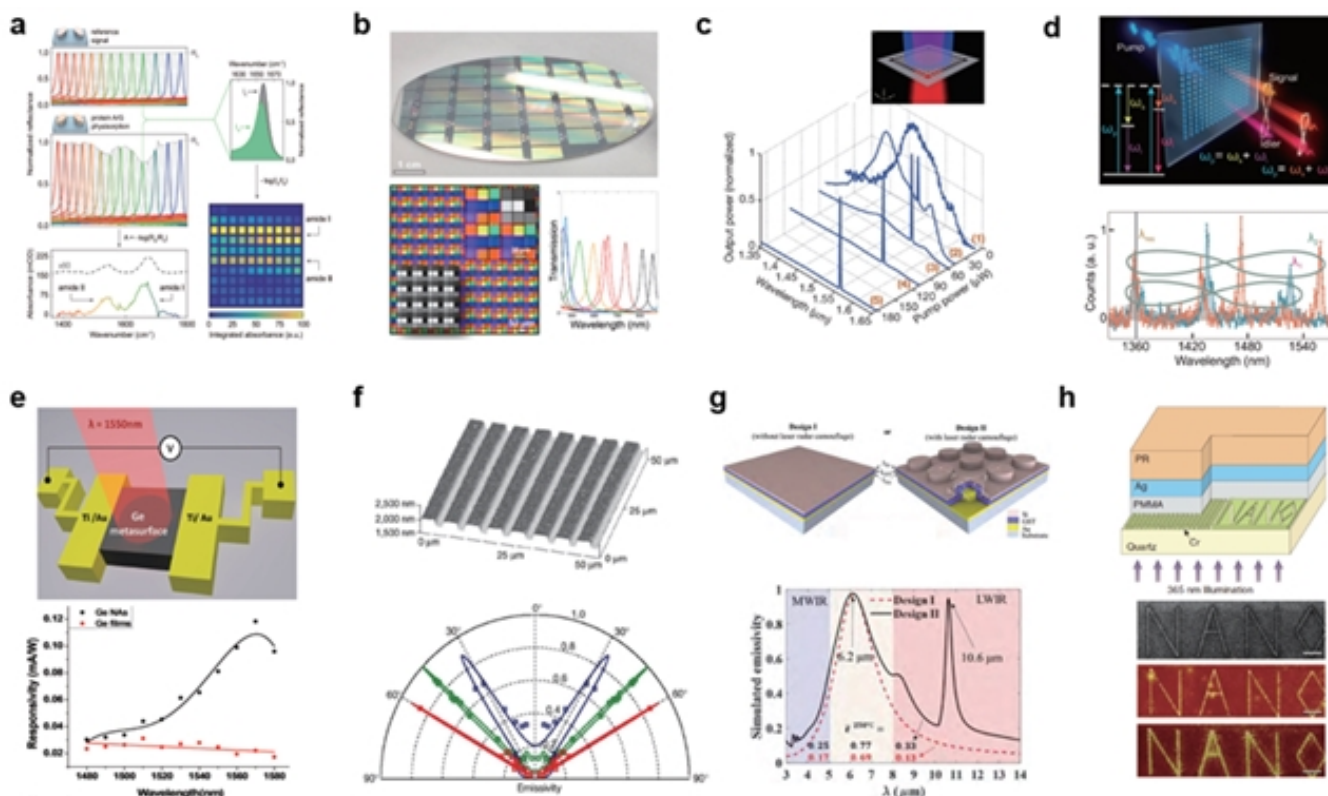


图3. 由空间高品质因子纳米光子学应用

## 总结与展望

本综述对利用自由空间光激发高品质因子模式进行了全面回顾。当前，在实验中提升器件的品质因子仍需要克服诸多挑战。对于非吸收型器件，限制器件品质因子的主要因素包括材料缺陷导致的吸收损耗；加工误差导致的形状、尺寸、位置偏差；有限周期导致的边缘散射损耗等。对于吸收型器件，由于需要引入额外的吸收损耗以实现高效吸收，因此在实验中总品质因子会进一步降低，如何精准调控吸收损耗与辐射损耗之间的相对大小仍然是实验中需要解决的问题。

此外，当前对于高品质因子模式的研究大多集中在光谱维度。如何在保证器件具有高品质因子的同时，调控其在波矢空间的特性仍有待进一步研究。比如，通过折叠布里渊区，可以实现平带高品质因子模式；利用非局域超表面，可以在保证器件具有高品质因子的同时，对散射光的波前进行调控。这些研究将赋予高品质因子器件更丰富的光学特性，使其有更广泛的应用。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01825-x>

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：李强等 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](http://www.iikx.com)转发