

---

# 钙钛矿与声子谐振腔耦合的光电调制

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/24984.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！**

钙钛矿与声子谐振腔耦合的光电调制。最近，来自德国马克思普朗克聚合物研究所和韩国浦项科技大学的科研人员通过在一个可调谐的F-P太赫兹腔中测量过氧化物的超快光导反应，探索了谐振腔-声子耦合对有机-无机混合过氧化物中瞬时光导率的影响，该研究对可调谐开关和频率控制装置具有重要意义。

## 研究背景

相干电磁辐射与特定微观材料运动的选择性相互作用可以诱导超导性光学相变，并影响分子反应途径。光的量子性质最近得到了越来越多的关注，利用真空状态可以避免由于能量耗散而引起的限制。量子场和二能级系统之间的相互作用导致了多种态的混合。通常来说材料-场相互作用较弱，仅能轻微地调节材料行为（例如，氢原子中的兰姆位移）。为了增强耦合，可以将材料放置在一个空腔内，该空腔与材料的两个能级之间的跃迁共振调谐。据报道，使用这种方法的场态和材料态的强混合可以产生从可见波段到太赫兹频率的多个材料系统（无机、有机和混合钙钛矿材料）的极化激子态。这种方法可以显著影响化学反应的速率、超分子自组装和电导率。

## 创新研究

作者研究了太赫兹场和空腔中有机-无机钙钛矿之间的共振相互作用，以及它如何影响系统的电学和光学性质。此外，还研究了甲基碘化铵铅（MAPI， $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbI}_3$ ）钙钛矿，它由嵌入带负电的无机 $\text{PbI}_3$ -亚晶格中的 $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$ 阳离子组成。由于局部电荷的作用，MAPI晶格对外部电场高度敏感，其声子模式具有高光学强度。一方面，MAPI声子模的高强度使得它们与腔的谐振太赫兹模强耦合更加容易。另一方面，由于强烈的电子-声子相互作用，声子显著影响MAPI中的电荷迁移率，导致极化子的形成和电子-声子散射。后者是抑制钙钛矿中自由电荷运动的主要机制。在谐波系统中，电子-声子散射发生在不能与横向电磁场耦合的暗纵向（LO）声子模式中。然而，MAPI钙钛矿中显著的非谐性导致纵向和明亮的横向（TO）声子模式的混合，甚至导致这些振动具有局部化的特征。后者可能通过打破动量守恒规则来实现电子的各种散射途径。因此，MAPI钙钛矿的亮声子与电磁场的耦合可以影响TO和LO声子的态密度和特性，以及它们与电荷载流子的相互作用（图1a）。

作者将腔调谐为与MAPI钙钛矿的声子模式共振，以增强它们与太赫兹场的相互作用。该空腔由两个熔融二氧化硅衬底组成，每个衬底上都沉积了一层薄（190 nm）的ITO层（图1b）。ITO在可见光谱范围内是透明的，但具有导电性，因此可以反射大部分太赫兹辐射。这种设计能够在与太赫兹腔耦合的钙钛矿中光激发电荷载流子，并使用太赫兹脉冲探测电荷载流子迁移率。可以为控制钙钛矿的导电性能和钙钛矿腔系统的太赫兹响应提供机会。

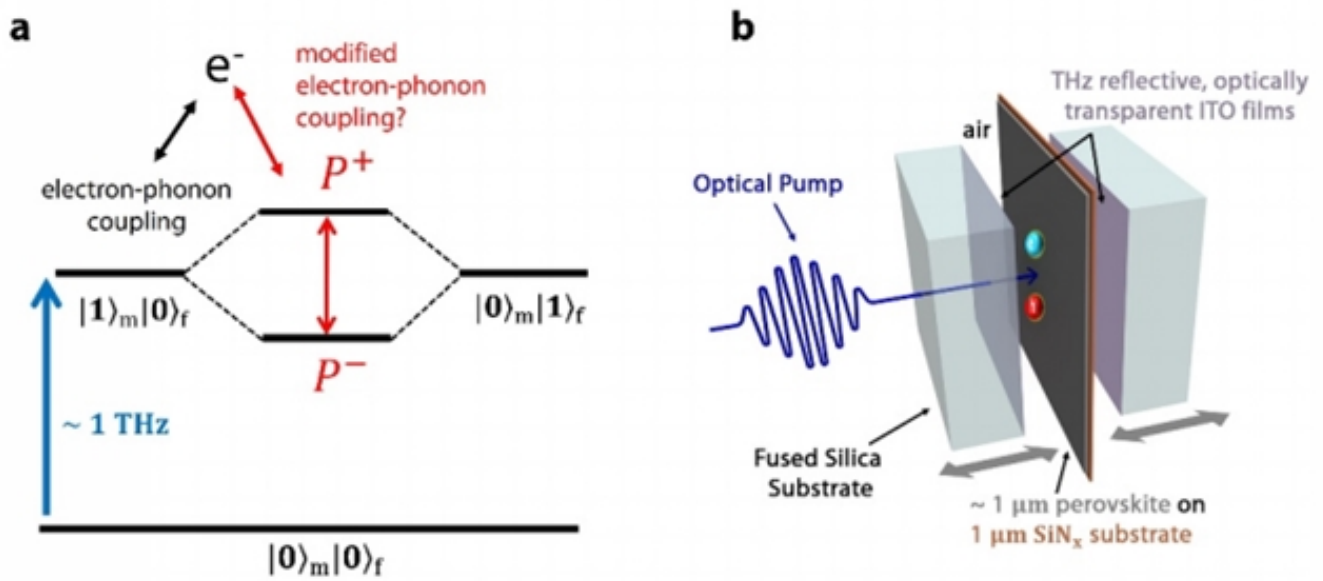
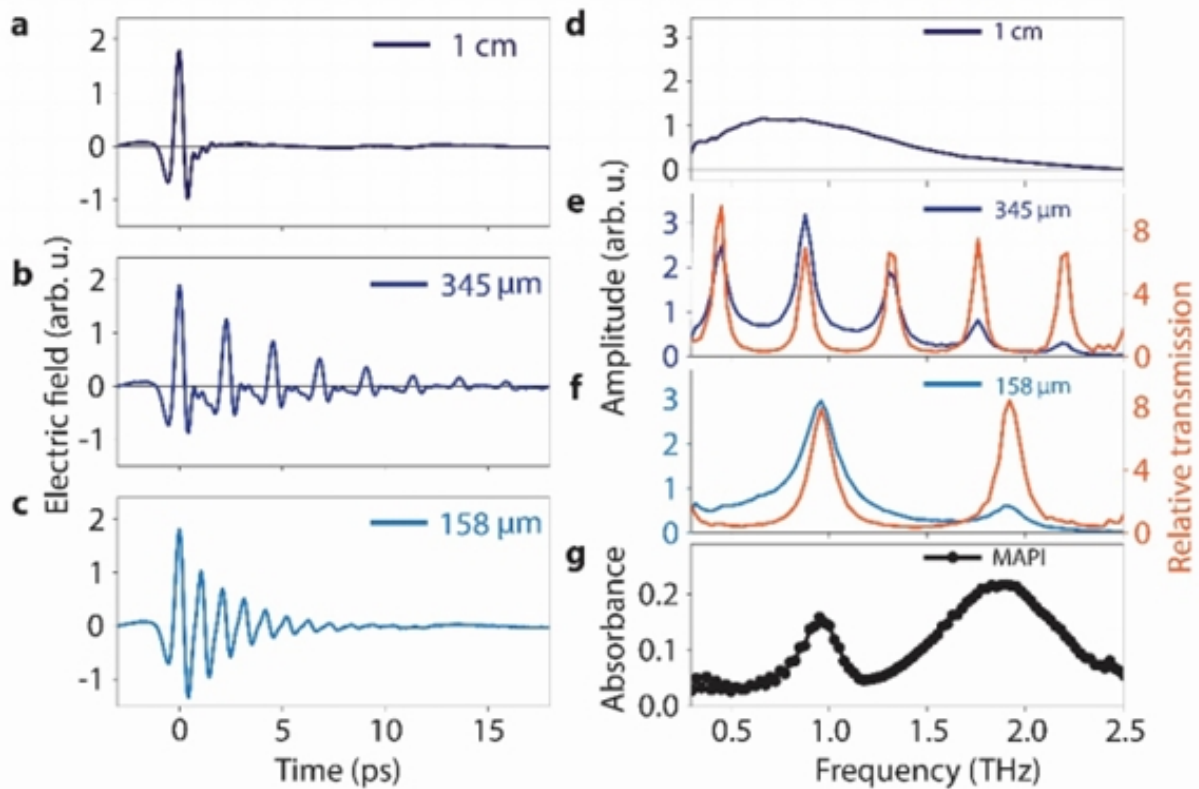


图1. 太赫兹调谐腔中的电子-声子耦合

作者通过使用太赫兹时域光谱测量腔的传输来表征腔在太赫兹频率范围内的性能。图2a-f显示了通过反射镜之间腔传输的太赫兹脉冲的时间分布和光谱。由于钙钛矿在THz脉冲的频率范围内，在~1 THz和~2 THz（图2g）具有两种强模式，这两种模式被分配给Pb-I-Pb弯曲振动和Pb-I键拉伸。



---

## 图2. 太赫兹腔和钙钛矿的光学性质

作者在空腔内插入一个支撑在 $1\ \mu\text{m}$ 厚 $\text{SiN}_x$ 膜上的 $\sim 1\ \mu\text{m}$ 厚多晶样品，并将第一空腔模式（模式阶数 $m=1$ ）调整为接近与1THz声子的共振（图3a）。有了这个腔长，第二腔模（ $m=2$ ）与2THz钙钛矿声子共振。然而，由于腔内部场的不同空间分布，第一和第二腔模式的电磁场与薄膜样品的相互作用是不同的。在腔的中心，电场对于 $m=1$ 是最大的，而对于 $m=2$ 模式是零。因此，不同模式的相互作用强度（电场和跃迁偶极矩的乘积）主要取决于样品在腔内的位置。当空腔长度和钙钛矿在空腔内的位置变化时，钙钛矿空腔系统的响应显示出很大的可变性，如图3b中的模拟以及图3c中的实验结果图。

图3. 钙钛矿腔系统的频率和时间分辨光谱

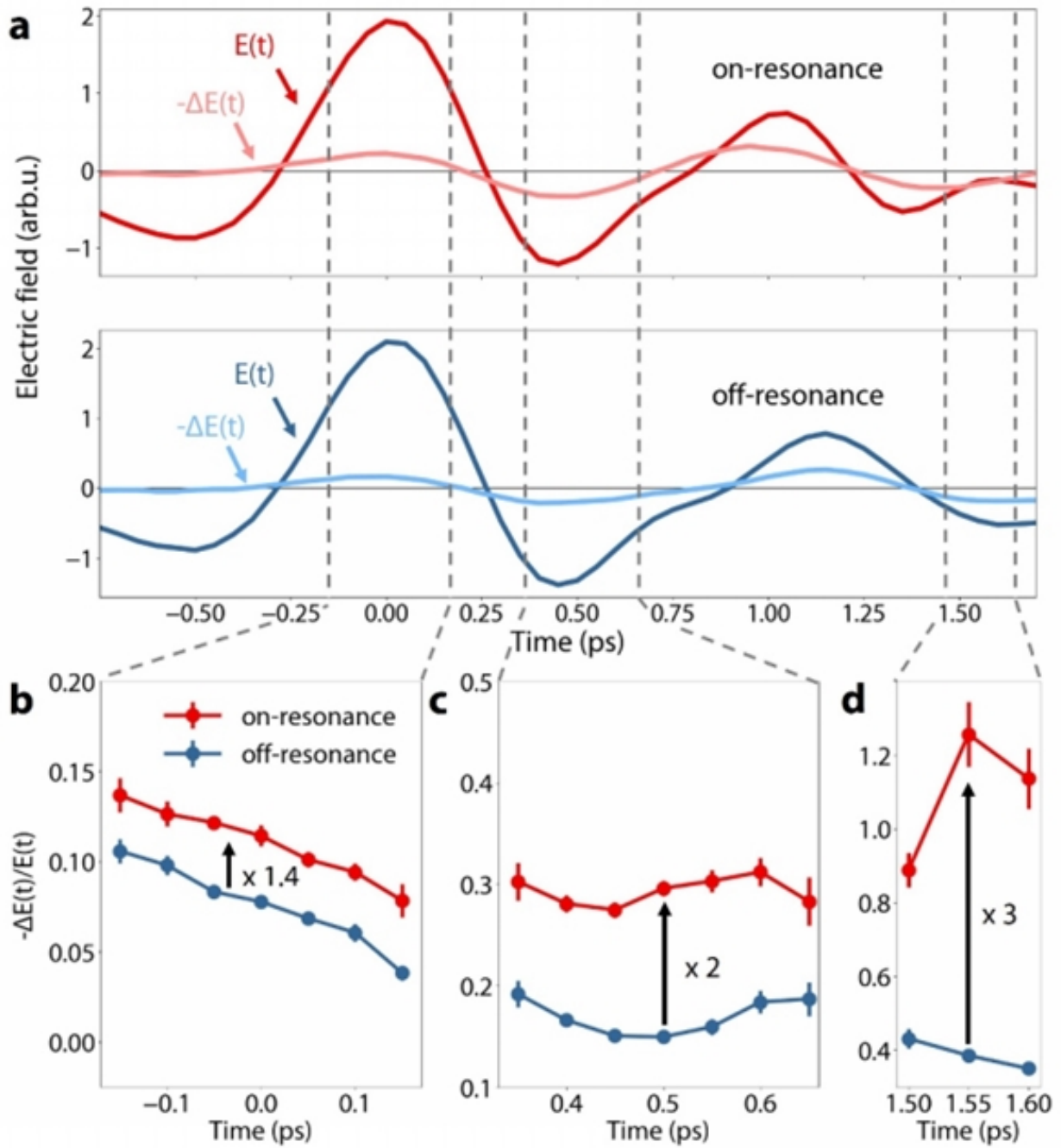


图4 钙钛矿腔系统的腔可调谐光电导增强

由于钙钛矿无论是基态还是激发态，在太赫兹腔内部都没有显著变化，但整个钙钛矿腔系统的响应会显示出显著的变化。图中的结果3d表明，该系统能够对太赫兹场调制进行可调谐控制。然而，调制并不仅仅局限于最大值。通过对时域中的数据，即产生图中频谱的傅立叶变换之前的数据进行分析。对于两种系统配置，图4a显示了THz脉冲的电场及其在样品激发后30 ps测得的光致变化。在太赫兹脉冲达到最大值之前，对于开和关谐振钙钛矿腔配置的两种情况，其场的调制都比较弱。在脉冲最大值附近，在谐振钙钛矿腔系统中，场变化约5-10%（图4b）。在大约0.5ps之后，调制增加到20%（图4c），在脉冲达到最大值之后大约1.5ps时达到40%（图4d）。根据图4b-d

---

所示结果，将腔调谐为与1THz钙钛矿模式共振，在THz脉冲的持续时间内可以将调制增加1.5、2和3倍。综上所述，这种超快太赫兹场调制的按需可调节性可以有利于光子集成器件和光通信调制。

该文章发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》上，题目为Controlling the electro-optic response of a semiconducting perovskite coupled to a phonon-resonant cavity。Lucia Di Virgilio为论文的第一作者，Maksim Grechko和Mischa Bonn为论文的通讯作者。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://www.nature.com/articles/s41377-023-01232-0>

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：Lucia Di Virgilio 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