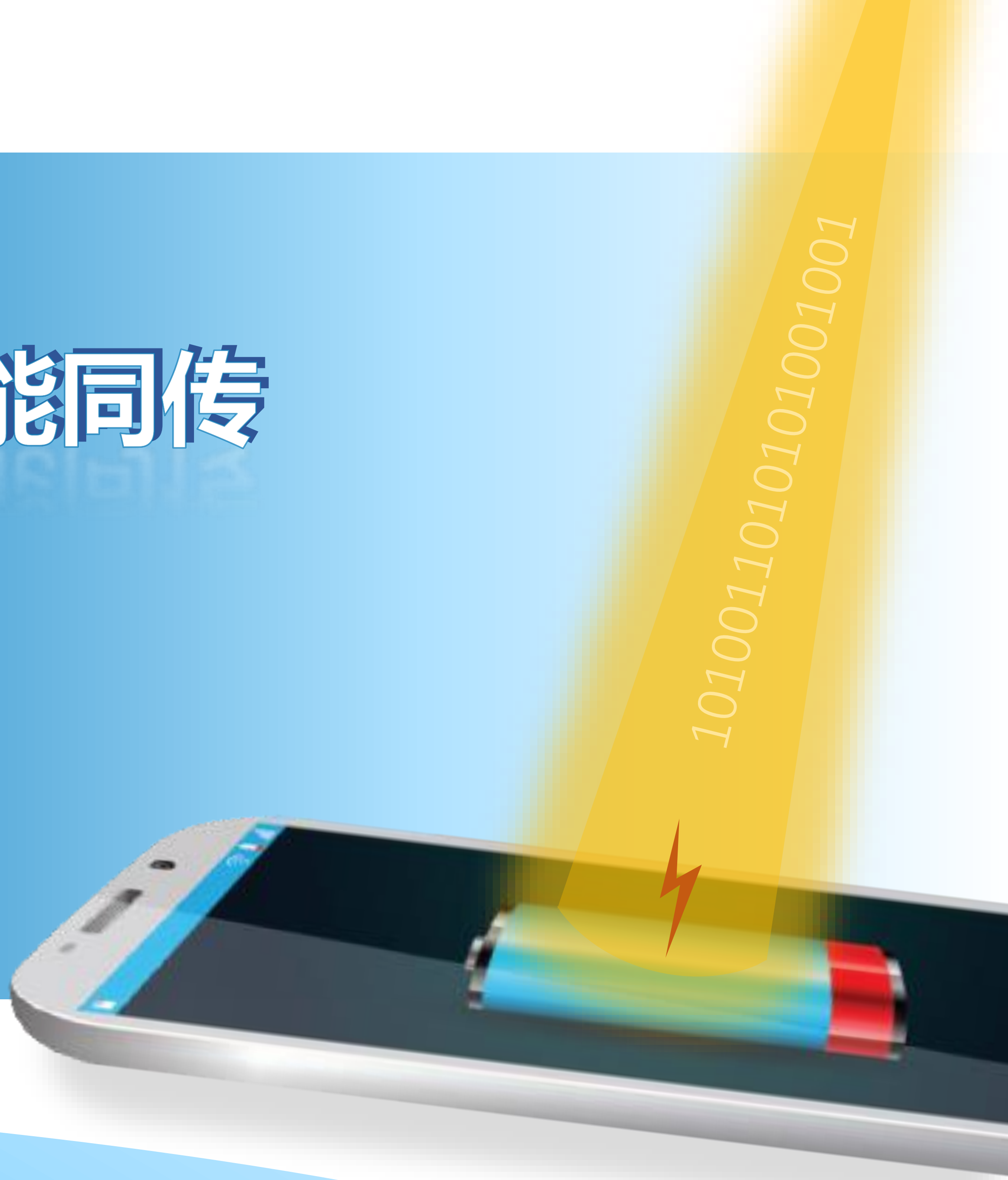
自对准腔内激光隔空数能同传

研究成果汇报

熊明亮
同济大学
电子与信息工程学院



熊明亮

博士生国家奖学金

菲尼克斯电气奖学金

11篇期刊论文（一作6篇）

3篇一作会议论文

另有3篇一作/共一论文在审

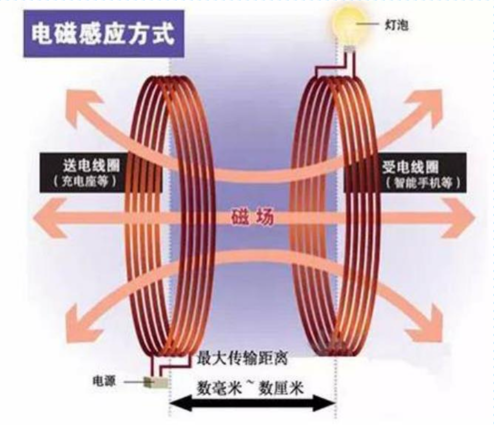
8项授权发明专利

www.xiongml.cn

1. **M. Xiong**, Q. Liu*, and S. Zhou, “Optimization of A Mobile Optical SWIPT System With Asymmetric Spatially Separated Laser Resonator” , submitted to ***IEEE Transactions on Communications***.（在审）
2. **M. Xiong**, Q. Liu*, S. Zhou, S. Han, and M. Liu, “High-power and high-capacity mobile optical SWIPT”, submitted to ***IEEE Transactions on Communications***. (在审)
3. Q. Liu[#]*, **M. Xiong**[#], M. Liu[#], Q. Jiang, W. Fang, and Y. Bai, “Mobile wireless power transfer using a self-aligned resonant beam,” submitted to ***IEEE Internet of Things Journal***. （共同一作，在审）
4. **M. Xiong**, Q. Liu*, X. Wang, S. Zhou, B. Zhou, and Z. Bu, “Mobile optical communications using second harmonic of intra-cavity laser”, ***IEEE Transactions on Wireless Communications***. 2021, to appear.
5. **M. Xiong**, M. Liu, Q. Jiang, J. Zhou, Q. Liu*, and H. Deng, “Retro-reflective beam communications with spatially separated laser resonator,” ***IEEE Transactions on Wireless Communications***, vol. 20, no. 8, pp. 4917-4928, Aug. 2021.
6. **M. Xiong**, Q. Liu*, G. Wang, G. B. Giannakis, S. Zhang, J. Zhu, and C. Huang, “Resonant beam communications with echo interference elimination,” ***IEEE Internet of Things Journal***, vol. 8, no. 4, pp. 2875-2885, Feb. 2021.
7. **M. Xiong**, Q. Liu*, M. Liu, X. Wang, and H. Deng, “Resonant beam communications with photovoltaic receiver for optical data and power transfer,” ***IEEE Transactions on Communications***, vol. 68, no. 5, pp. 3033-3041, May 2020.
8. **M. Xiong**, Q. Liu*, G. Wang, G. B. Giannakis, and C. Huang, “Resonant beam communications: Principles and designs,” ***IEEE Communications Magazine***, vol. 57, no. 10, pp. 34-39, Oct. 2019.
9. **M. Xiong**, M. Liu, Q. Zhang, Q. Liu*, J. Wu, and P. Xia, “TDMA in adaptive resonant beam charging for IoT devices,” ***IEEE Internet of Things Journal***, vol. 6, no. 1, pp. 867-877, Feb. 2019.
10. **M. Xiong**[#], Q. Liu[#]*, M. Liu, and P. Xia, “Resonant beam communications,” in *Proc.* ***IEEE International Conference on Communications (ICC)***, Shanghai, China, Dec. 2019, pp. 1-6.
11. **M. Xiong**, Q. Liu*, G. Wang, G. B. Giannakis, S. Zhang, and C. Huang, “Analytical models for resonant beam communications,” in *Proc.* ***11th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)***, Xi'an, China, Oct. 2019, pp. 1-6.
12. **M. Xiong**, Y. Wu, Y. Ding, X. Mao, Z. Fang, and H. Huang*, “A smart home control system based on indoor location and attitude estimation,” in *Proc.* ***International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)***, *Kunming*, China, Aug. 2016, pp. 1-5.

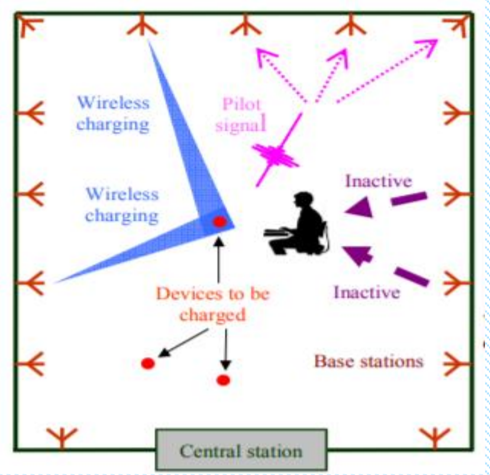
研究的起因：解决无线充电的安全、移动性瓶颈

磁感应/耦合



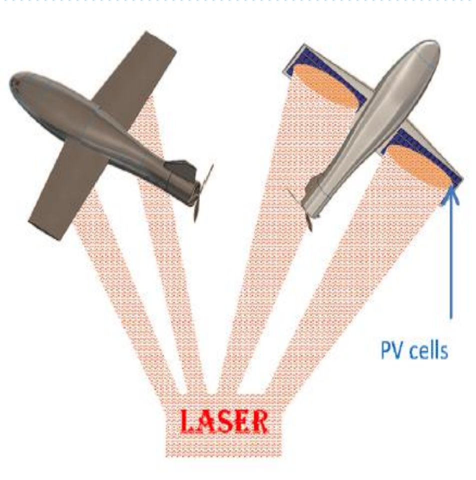
- 距离近
- 难移动

射频



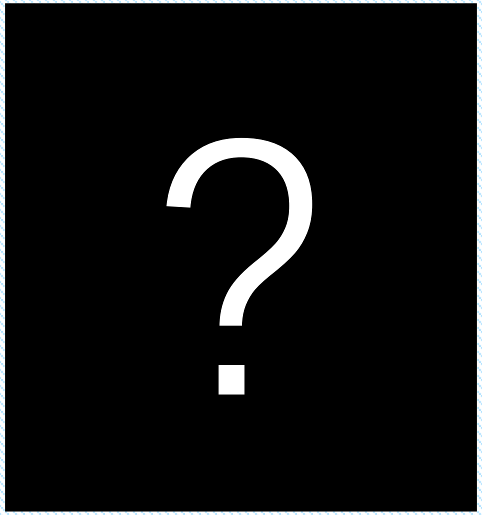
- 辐射高
- 效率低

激光



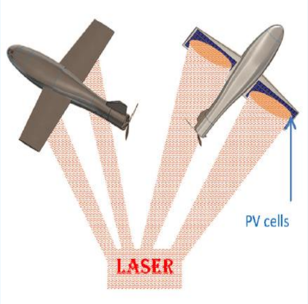
- 不安全
- 难对准

新技术



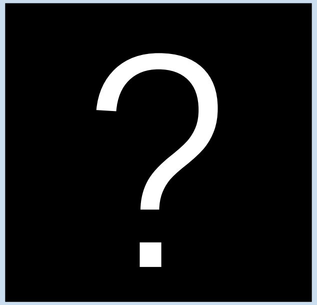
- ✓ 距离远
- ✓ 自对准
- ✓ 功率高
- ✓ 安全性好

新技术：自对准腔内激光移动传能



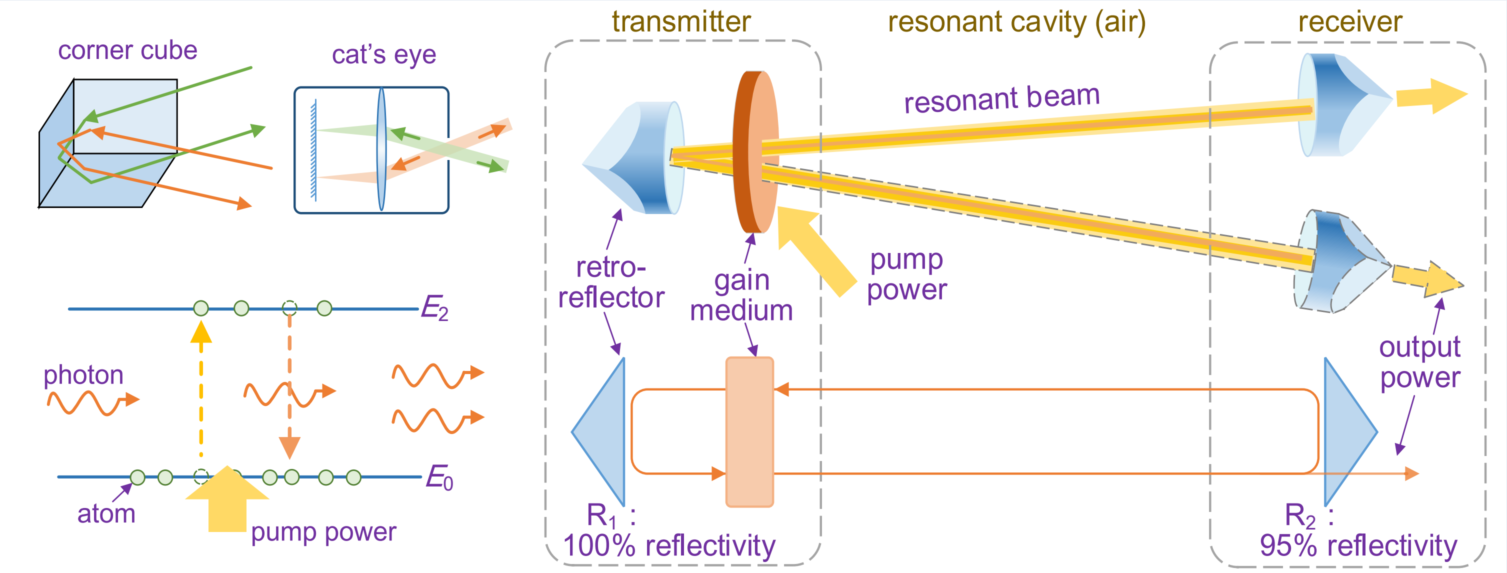
常见的激光器

- 平/凹面镜腔
- 集成在发送端
- 腔外激光传能



分离腔激光器

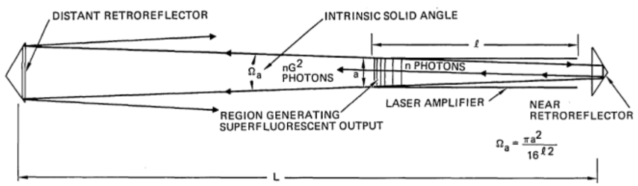
- 回复反射腔（自对准）
- 发收两端联合构成
  （远距离、可移动）
- 腔内激光传能
  （高功率、本征安全）



自对准腔内激光移动传能的技术背景

1973

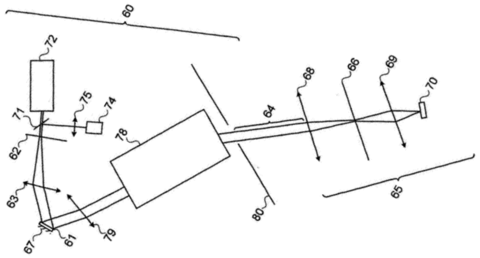
Gary J. Linford两篇论文



1. 提出利用回复反射器构成30km长的激光共振腔
2. 固定位置方便对准
3. 不可移动

2012

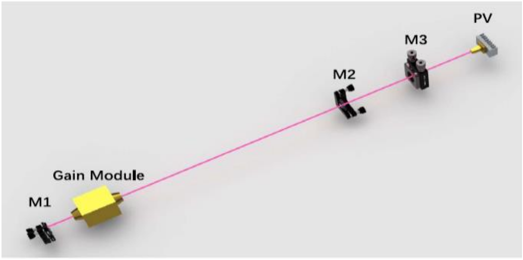
Wi-Charge公司专利



1. 提出基于回复反射器共振腔的无线充电概念
2. 用到猫眼回复反射器
3. 细节缺失且没有实验结果

2019

同济大学和中科院上海光机所的实验



1. 验证了2米长固定腔的高功率传输能力及腔内安全性
2. 不可移动
3. 接收端没有很好地集成

问题：1. **能否实现**以及**如何实现**移动传能?

2. 众多**设计参数**如何确定？没有实验数据可供参考。

3. 光学元件**装配误差**对结果的影响多大? 如何精确装配光学元件?

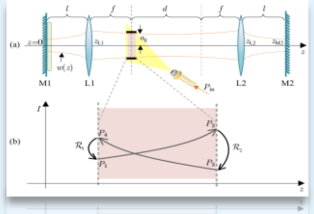
4. 如何完整集成一个**小型化接收机**？任意方向的接收光束如何耦合到光伏板上?

5. 额定转换效率很高的**光伏板实际效率很低**，是什么原因，及如何提高?

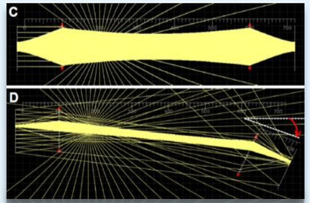
完整主导了实验研发和集成全过程

理论计算

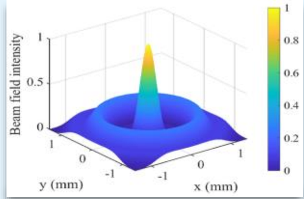
功率
传输模型



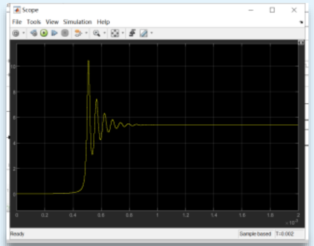
射线
跟踪仿真



空间
光场仿真



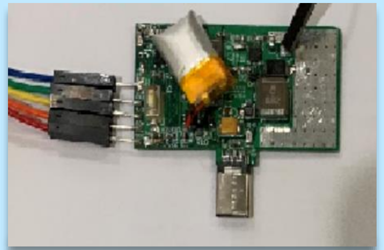
时域
动态仿真



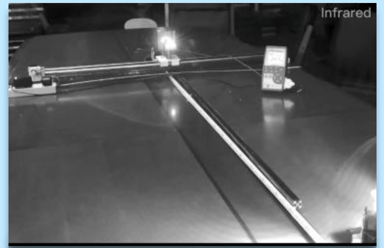
实验验证

光学
平台搭建

电子
电路制作

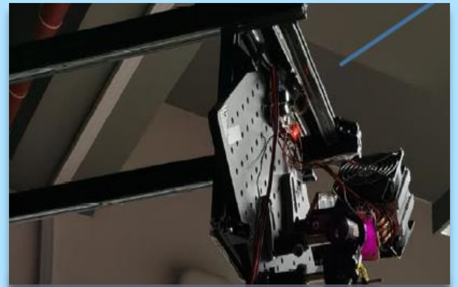


测试
装置制作

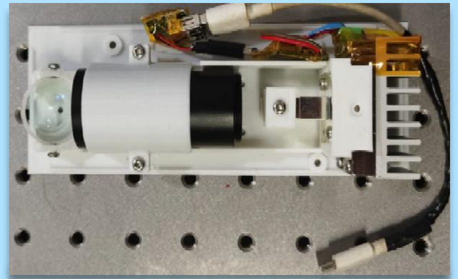


样机集成

发送



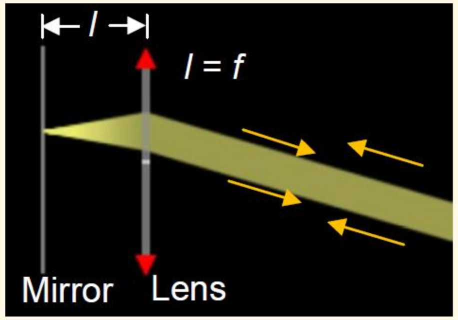
接**收**

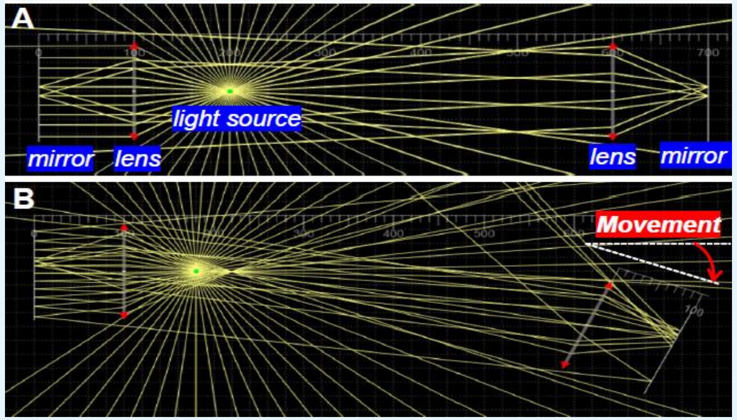


核心创新：聚焦猫眼回复反射共振腔

常规猫眼/角锥腔

- 构成介稳腔
- 腔内损耗大
- 传输距离近（指定孔径和泵浦功率）

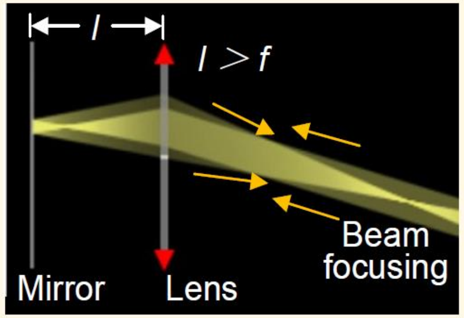


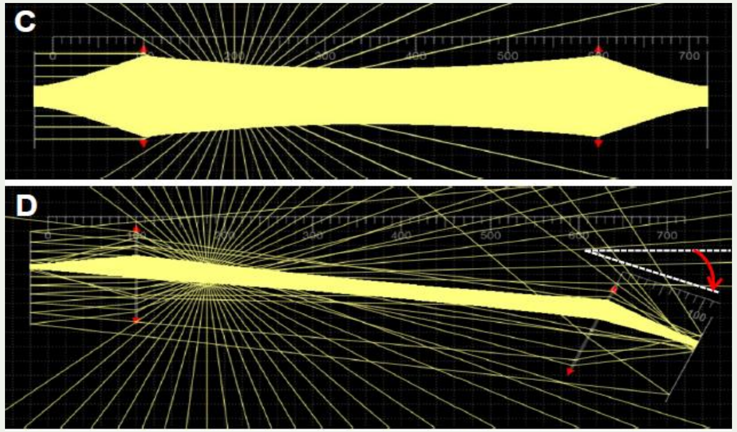


特定角度相互平行的极少的光线才能在腔内振荡，大部分则溢出腔外

聚焦猫眼腔

- 构成稳定腔
- 腔内损耗极小
- 传输距离远

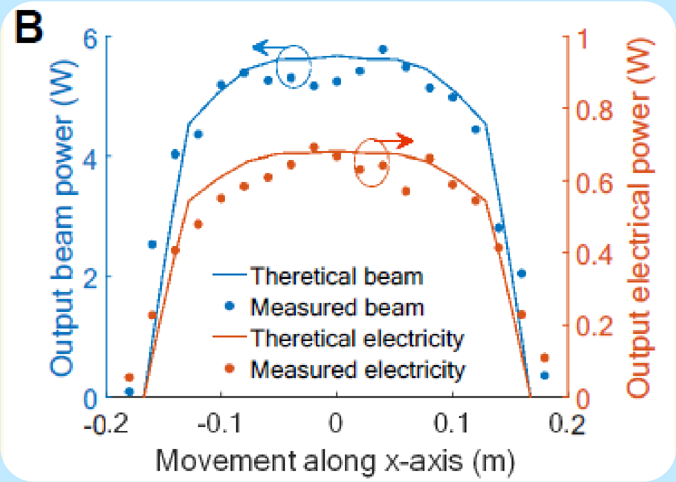


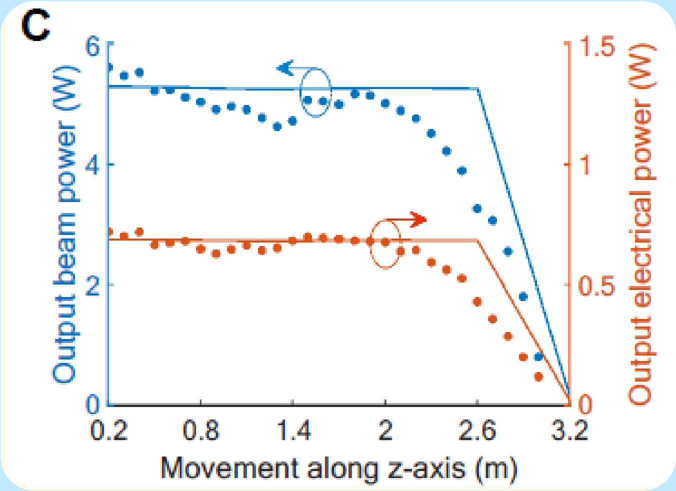


一定夹角内的很多光线都能在腔内振荡而不溢出

M. Xiong, M. Liu, Q. Jiang, J. Zhou, Q. Liu*, and H. Deng, "Retro-reflective beam communications with spatially separated laser resonator," ***IEEE Transactions on Wireless Communications***, vol. 20, no. 8, pp. 4917-4928, Aug. 2021.

首次公开了米级瓦级安全自由移动传能实验设计和数据





Q. Liu[#*], **M. Xiong[#]**, M. Liu[#], Q. Jiang, W. Fang, and Y. Bai, "Mobile wireless power transfer using a self-aligned resonant beam," submitted to ***IEEE Internet of Things Journal***.（共同一作，在审）

从传能到

传数据

技术	信道容量	移动性	终端数
全向LED	★	★★★	★★★
定向LED	★★	★★	★★
激光	★★★	★	★
自对准腔内激光	★★★	★★★	★★

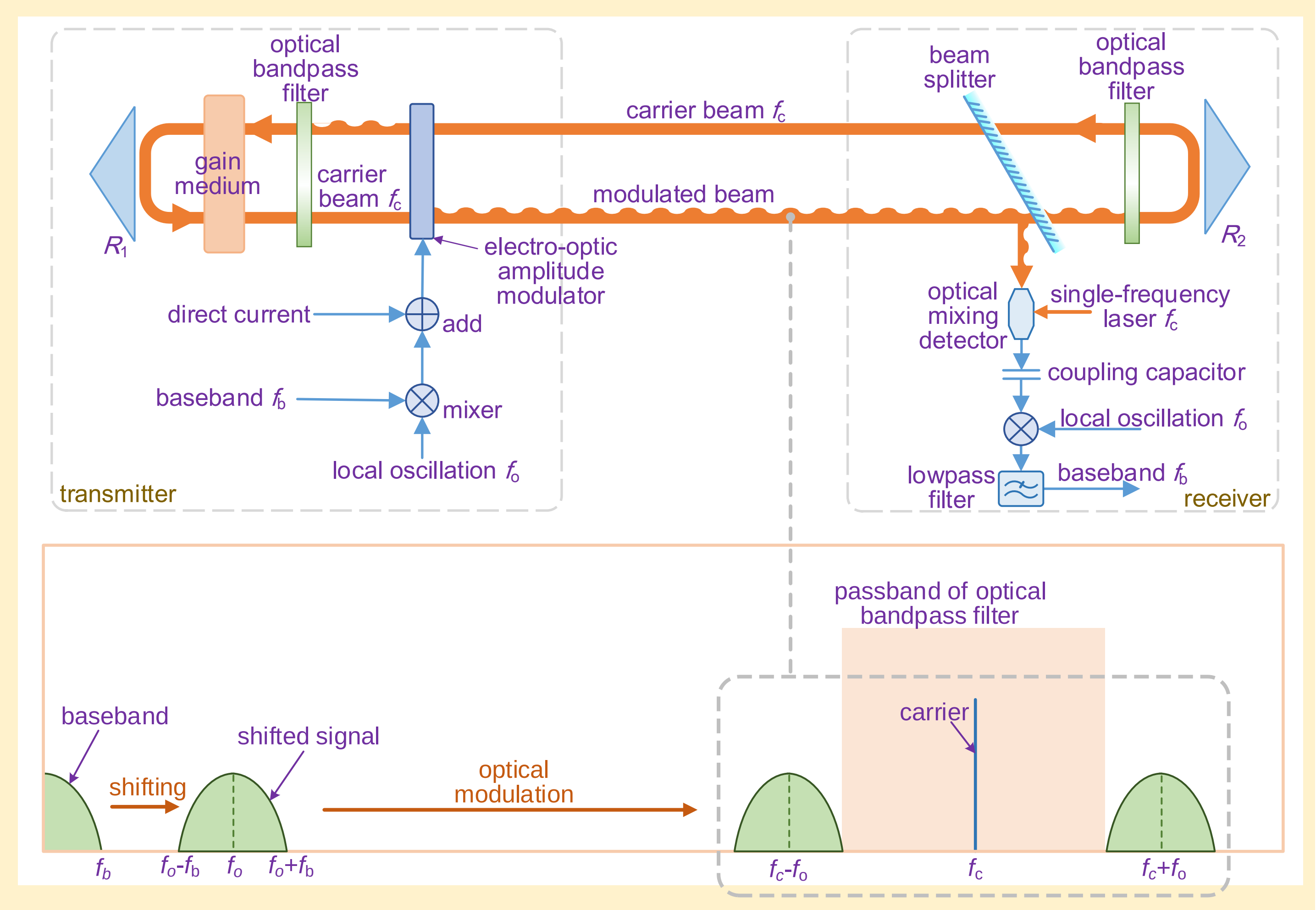
<u>自对准</u>腔内共振激光移动通信

用 于 室 内 场 景 高 速 通 信

更 高 信 噪 比 和 信 道 容 量

快 速 的 自 对 准 和 自 跟 踪

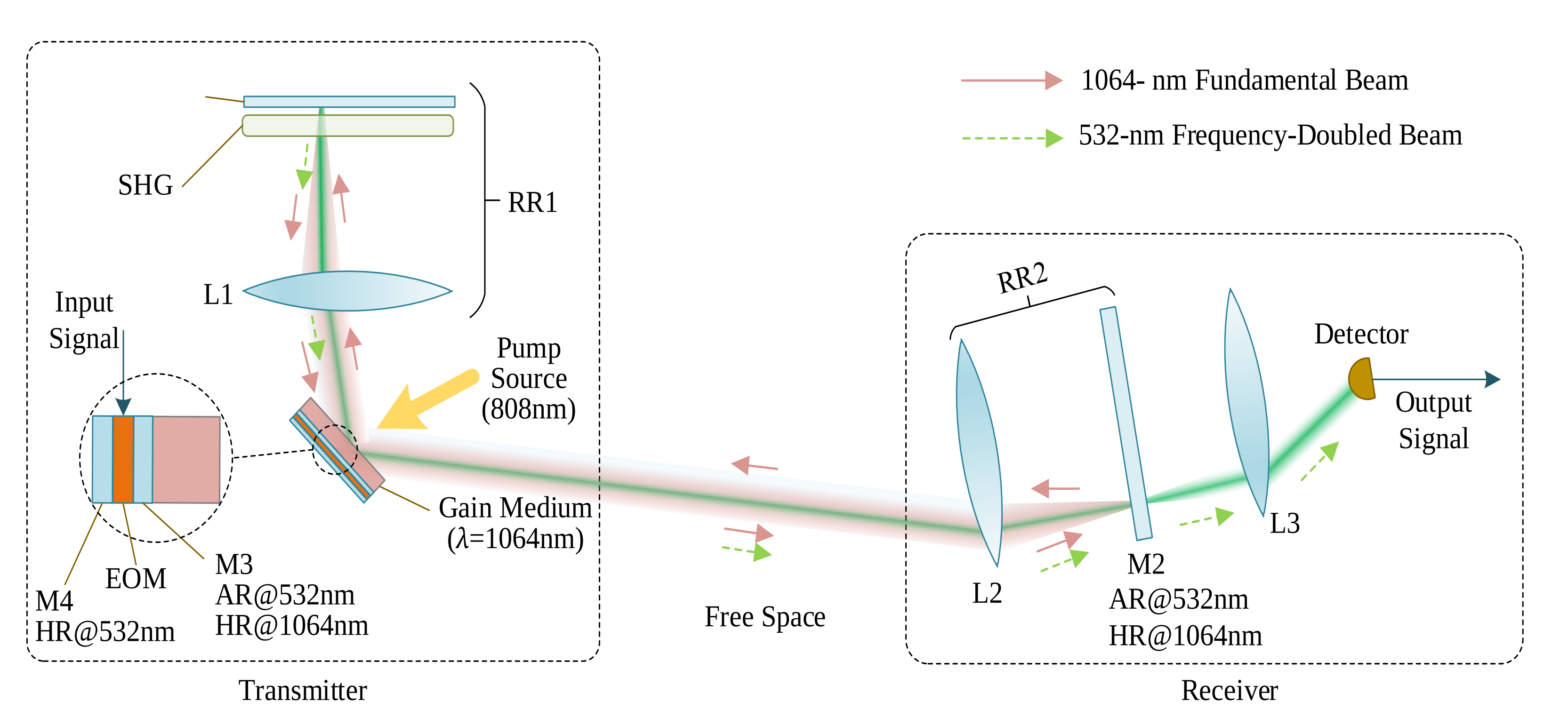
关键科学问题：如何消除腔内光束的回波干扰



- 回射波导致增益波动
  反复调制输出混沌信号
- 提出频谱搬移和光学滤波：
  使回波重新成为单频载波。
- 难点：超高速率调制器和超
  窄频率滤波片。

M. Xiong, Q. Liu*, G. Wang, G. B. Giannakis, and C. Huang, “Resonant beam communications: Principles and designs,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 10, pp. 34-39, Oct. 2019.

去回波干扰：腔内倍频、选频输出



- 利用腔内往返光束光路重叠的特性。
- 腔内基频光的部分能量被二倍频后进行调制。
- 接收端选择性输出倍频光保留基频光维持共振。

M. Xiong, Q. Liu*, X. Wang, S. Zhou, B. Zhou, and Z. Bu, “Mobile optical communications using second harmonic of intra-cavity laser”, ***IEEE Transactions on Wireless Communications***, 2021, to appear.

个人研究方向不断拓展

传能	通信	数能同传	定位	传能通信定位一体化
2篇	6篇	3篇	…	…

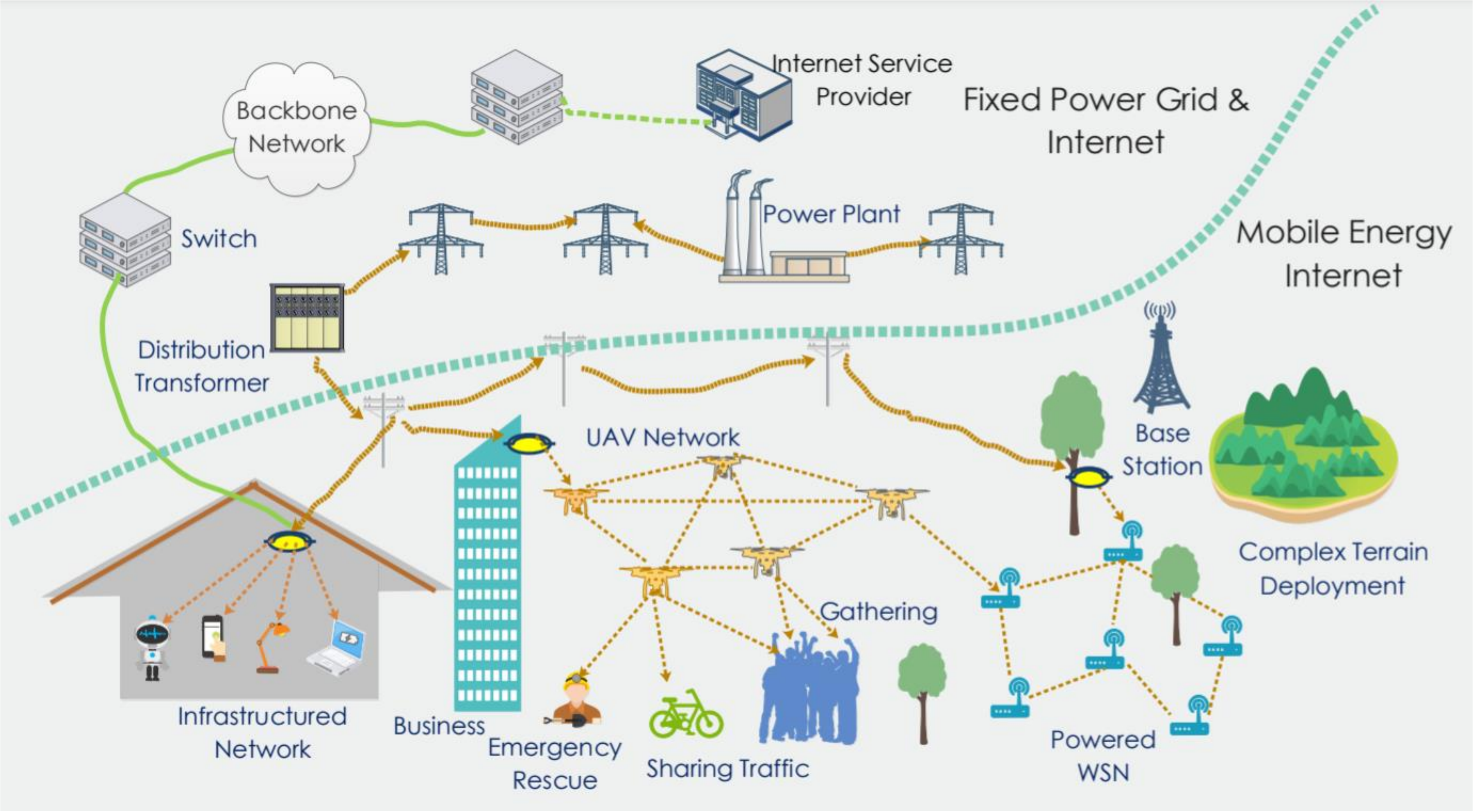
说明：篇数为已发表和在审的一作/共一论文数

腔内共振激光隔空传输领域加速发展

1篇	1篇	7篇	7篇	5篇	16篇
2016	2017	2018	2019	2020	2021

说明：篇数包括了正式发表和预印本

应用展望：移动能联网



目标:

让移动设备摆脱线缆的束缚！

让能量和信息像空气一样无处不在!

谢谢！

熊明亮

同济大学

电子与信息工程学院