

## 疫情常态下，欧洲光子学研究的规划和思考

**光子学**是研究作为信息和能量载体的光子的行为及其应用的学科，一直以来都广受关注，并且被 Horizon 2020 (欧洲委员会第八个框架计划，Horizon Europe 计划的前身) 认定为**六种关键使能技术 (KET) 之一**，在自动驾驶、绿色能源和智能生活等领域发挥着重大作用，并获得了 Horizon 2020 框架计划数亿欧元的支持。

然而，在 Horizon Europe 框架计划的最新修订中，欧盟将更多的资助倾向于数字技术、健康、气候、粮食和自然资源等以任务为导向的领域，完全忽略了至关重要的光子学技术。

对此，诺贝尔奖得主 Theodor Hansch、Stefan Hell 和 Gerard Mourou 等人以及欧洲技术平台 Photonics21 分别在 2018 年以公开信和 2019 年的战略路线图的方式对该计划进行了反驳，希望欧盟可以将光子学技术纳入到 Horizon Europe 资助框架计划当中。

随后，欧盟及时发现到 Horizon Europe 框架计划修订的问题，并**重新将光子学技术纳入资助计划当中**，但在 2020 年初时，全球范围内都一直受到新冠疫情的影响，欧盟的研究经费也变得愈发紧张。在 2020 年 7 月的预算峰会上，欧盟将 Horizon Europe 的计划预算**削减为 809 亿欧元** (原为 1070 亿欧元)。

在此之后，欧洲议会一直在努力扩大 Horizon Europe 的资金拨款，并于 2020 年 12 月 11 日与欧洲理事会进行了长达 14 小时的马拉松式的谈判，最终欧洲委员会决定预算提升到 **955 亿欧元**，其中 11 亿欧元用于欧洲研究理事会 (ERC) 中。

在 Horizon Europe 曲折的资金申请过程中，为了可以在光子学技术领域申请到更多的资金拨款，Photonics 21 于 2020 年 5 月，提交了关于建立新型欧洲光子学伙伴关系的草案，标题为“*Photonics for a Healthy, Green & Digital Future.*”，但该提案影响力较小，没有引起足够的重视。

而后，由 Photonics 21 管理的一个行业、学术、政府联盟——光学政府社会合作组织（以下简称 PPP）又发布了《2021~2027 年欧洲光子学路线图》（以下简称路线图）的最新版本，目的仍是希望 Horizon Europe 可以在光子学技术领域给与更多的资助，并协助制定未来的资助计划和方向，其标题为“*New Horizons: Securing Europe’s Technological Sovereignty Through Photonics*”，强调了过去一年里新冠疫情对 Horizon Europe 的影响以及光子学技术在“Next Generation EU”议程（于 2020 年 9 月，EC 主席 Ursula von der Leyen 发表的欧盟现状报告中阐述）目标中的关键作用，其研究路线主要包括“**数字基础设施**”、“**环境**”和“**健康**”等多个领域。

《路线图》的目的虽是 PPP 为申请更多的光子学研究预算而定，但是从中也能了解到在疫情成为常态化的当下，欧盟对光子学的作用和未来发展的一些思考，也许对本国光学同仁发展和规划光子学研究有所裨益。因微信篇幅有限，光电汇仅《路线图》中侧重的“数字基础设施”、“环境”和“健康”三个主要领域进行编译归总，以飨读者。

## 欧洲光子学路线图研究领域

### 01

#### 数字基础设施

随着科技的飞速发展，数字基础设施已经成为我们日常生活和工作中不可或缺的一部分，并扮演着越来越重要的角色，目前数字基础设施已经完全成为了食品和商品的基本市场、青少年教育的促进者、远程工作的推动者、文化的仓库以及公民权利的保障工具。

且在新冠疫情的影响下，更加突出了数字基础设施在通信、工业、人工智能等新型领域的重要作用，引发了一波激烈的数字化浪潮，**预计该浪潮将在未来十年中持续并进一步扩大。**

在不久的将来，全球都会进入一个全新的数字时代，数以万计的事物都将被智能互联；自动驾驶汽车、机器人和无人机都将被进一步普及；人工智能、机器学习也会加深其应用程度。

在这一时代下的经济、工业和社会的数字化都需要坚实的信息和通信基础设施，而光子通信和网络技术便是这一基础设施的重要支柱。报告从用户和应用的角度出发，对未来数字基础设施发展的技术挑战、解决策略和路线图进行了分析和总结，如表 1 所示。

	2021	2022/2023	2024	2025/2026	2027
研究目标	“零接触”操作	即时网络响应	网络全区域覆盖	安全性	信道容量的持续增长
工程化标志	开放平台、开放接口和API	低延迟关键型应用需求激增	云/雾计算的大量使用	安全性标准、认证和集成	单比特成本和单比特功耗降低
光子学研究 与创新方向	基于人工智能技术的光网络：	确定性延迟通信：	无线光纤：	量子安全通信：	突破香农理论和摩尔定律：
	(1) 基于开放硬件和软件的可互操作光网络节点；	(1) 时间敏感型光网络技术；	(1) 虚拟光纤 (LiFi和VLC)；	(1) RNG和QKD量子密码芯片；	(1) 多频WDM系统；
	(2) 基于AI/ML的动态自配置光网络技术 (用于控制、优化和故障检测)；	(2) 光互连网络的延迟优化；	(2) 自由空间光通信系统 (FSO)。	(2) 即插即用的量子光学；	(2) 空分复用系统和子系统技术；
	(3) 高效遥测和分析的光网络设备。	(3) 高精度光学计时；	深度光纤接入：	(3) 量子中继器；	(3) 千兆位集成节能收发器 (<pJ/bit/s)；
		(4) 高性能传感器/控制器的光通信集成系统；	(1) 相干无源光网络 (PONs)；	(4) 安全性光子器件。	(4) 光学ASIC和FPGA。
		(5) 光学机器人和传感器网络。	(2) 用于固定无线接入(FWA)的新型光纤无线电技术解决方案；	关键基础设施保护和恢复能力：	光计算：
		动态超网络：	(3) 无色光收发器，高功率PICs。	(1) 弹性光网络体系架构；	(1) 电子到光子IT的转变；
		(1) 基于工业互联网应用的光学解决方案；	光学无线电：	(2) 稳固型光学基础设施；	(2) 全光数据中心；
		(2) 稳定的光谱和以太网服务；	(1) 用于波束成形和转向的光学子系统；	(3) 新型入侵检测方法；	(3) 高速光子学神经网络；
		(3) 大规模超快混合光电 (e/o) 开关；	(2) 100GHz~1THz频域下发射和接收的光学概念系统。	(4) 硬切片能力和服务隔离。	(4) 光计算功能；
	(4) 动态超网络光子器件(激光光源、连接器)			(5) 神经形态光子学	
交叉学科&交叉项目	人工智能	未来工厂、机器人技术	用户导向的互联网	量子旗舰计划，网络安全	微电子，石墨烯旗舰计划

表 1：数字基础设施路线图

欧盟委员会主席 Von Der Leyen 曾表示：“tackling climate and environmental-related challenges is this generation’s defining task.”，针对环境问题，欧盟提出了一系列的相关决策，并出台了欧洲绿色协议（The European Green Deal）。这一协议不仅表现了欧盟要解决环境问题的决心，还在一定程度上表现了未来新技术、新方案和新路线的发展方向和目标。

事实上，在实现零排放道路交通、清洁能源转换、光伏可再生能源和智能照明节能等目标时都离不开光电子技术的支持和发展，光电子技术和相关解决方案在达成欧洲绿色协议方面发挥着至关重要的作用。

因此，该报告对未来光电子技术在**自动驾驶、智能照明节能和光伏可再生资源**方面的技术挑战、解决策略和路线图进行了分析和总结，如表 2、3 所示。

	2021	2022/2023	2024/2025	2026/2027	2028
研究目标	(1) 光子传感；	(1) 光子传感；	(1) 光子集成传感器；	(1) 光子集成传感器；	(1) 光子集成传感器；
	(2) 电池使用情况实时监测；	(2) 电池使用情况实时监测；	(2) 电池使用情况实时监测；	(2) 光通信(LiFi)；	(2) 光通信(LiFi)；
	(3) 低成本、高性能自适应光束控制。	(3) 低成本、高性能自适应光束控制	(3) 信息投影；	(3) 新型沉浸式交互显示器；	(3) 新型沉浸式交互显示器；
		(3) 信息投影；	(4) 光通信(LiFi)；	(4) 微型显示器。	(4) 微型显示器。
		(4) 光通信(LiFi)。	(5) 新型沉浸式交互显示器；		
			(6) 微型显示器。		
工程化标志	(1) 高速公路自动驾驶传感器；	(1) 恶劣条件下传感器和自适应光束驱动。	(1) 白天/夜间信息投射；	(1) LiFi范围、带宽和抗干扰要求。	(1) 分散注意力的措施
	(2) 自动防眩光远光灯。		(2) 注意力/睡眠监测		
光子学研究与创新方向	(1) 所有天气条件下公路车速的传感范围和分辨率	(1) 低成本、高分辨率矩阵前大灯和相关控制能力；		(1) 波长选择通信协议与抗干扰处理。	(1) 超现实AR虚拟显示器。
		(2) 具有色温和颜色调节能力的高效光源和光学系统。			
交叉学科&交叉项目	与其他车载传感器(如雷达和摄像机)的融合。	人因学(如照明的生理效应,以及人类在接收信息投射而不引起分心的能力)。		V2X通讯协议。	人因学/人体工程学(与沉浸式交互相关)。

表 2 自动驾驶路线图

	2021	2022/2023	2024/2025	2026/2027
研究目标	(1) 低成本、高效率的VHF和嵌入式系统；	(1) 多色高像素密度显示；	(1) 低能耗2D材料集成光子器件；	(1) 新型材料(节能型光源、探测器、OPV)；
	(2) 高效节能光源；	(2) 新型材料(节能型光源、探测器、OPV)；	(2) 集成式OPV；	(2) 用于HF/VHF的智能GaN；
	(3) 低能耗半导体集成和封装系统；	(3) 全透明显示器、OPV、灯具；(4) 可见光波段VCSEL及光学器件；	(3) 汽车照明(LED、OLED、激光)；	(3) AI体内传感器；
	(4) 传感和能量收集/无线电源；	(5) 高功率、低能耗LED封装系统；	(4) LiFi (交通领域等)；	(4) 用于水分解的光电化学器件；
	(5) 深紫外电晕防护LED；	(6) 低能耗3D打印光学器件；	(5) 高寿命OPV；	(5) 风力涡轮机激光雷达；
	(6) 红外传感器；	(7) 园艺照明；	(6) 光子计算机仿真模型；	(6) 低功耗显示器；
	(7) 高效率、高稳定OPV(有机光伏设备)；	(8) HCL的确认和验证。	(7) 物联网光源；	(7) 高效光收发器。
	(8) 基于自由曲面光学器件的节能光源；		(8) 园艺照明。	
	(9) 不同应用的LED(汽车、纺织品等)。			
工程化标志	(1) 复杂的生态系统；	(1) 科学界和企业界能够判断技术的市场价值；	(1) 低成本、高性能的无源设备；	(1) 高速探测器；
	(2) 具备可制造性；	(2) 开源vs替代实现；	(2) 单芯片解决方案/基于拓扑结构的LiFi接收器；	(2) 低电压光子探测器；
	(3) 出现商业案例：制造成本低、存在消费群体、迎合消费者需求、产品可集成。	(3) 标准化。	(3) LiFi快速荧光粉。	(3) 超长寿命。
光子学研究与创新方向	(1) 将VHF扩展到SELV，功率更高，输出范围更广；	(1) 低成本IR/UV传感器及宽带光谱分析仪系统实现方法；	(1) 单芯片光源/拓扑结构光源(如LED上的GaN晶体管)；	(1) 基于光(红外、可见光)、温度和无线电的能量探测方法。
	(2) 低成本物联网源(基于VHF)；	(2) 传感器和小型光源的无线电源(基于电磁共振和无线电)。	(2) 高时间常数、高效率的低光纹波荧光粉。	
	(3) 色温闭环解决方案；			
	(4) 传感器融合；			
	(5) 工艺改进；			
	(6) 生命周期模型。			
交叉学科 & 交叉项目	工业4.0；			
	物联网；			
	人工智能；			
	大数据；			
	Photonic 21 WGS；			
	光子学AR/VR；			

表 3 智能照明节能和光伏可再生资源路线图

### 03 健康

一直以来，预防疾病、评估早期病情以及改善体质都是医疗健康领域中需要解决的持久挑战。

在世界范围内，仅脑部疾病和心血管疾病(心脏病和中风)、癌症、败血症和阻塞性肺疾病(COPD)等十大主要疾病每年的相应发病率就超过 3000 万人，尤其是在新冠疫情影响下，当今的医疗系统水平需要进一步的发展与提高。

目前，欧洲医疗保健行业在全球医疗保健市场中处于领先地位，年复合增长率为 **10.8%**，2015 年度总市场规模为 **338 亿欧元**。

预计到 2021 年，全球医疗光子技术将达到 **500 亿欧元**左右，如图 1 所示，这使其不仅成为光电子领域最大的市场之一，也是全球增长速度更快的行业之一。

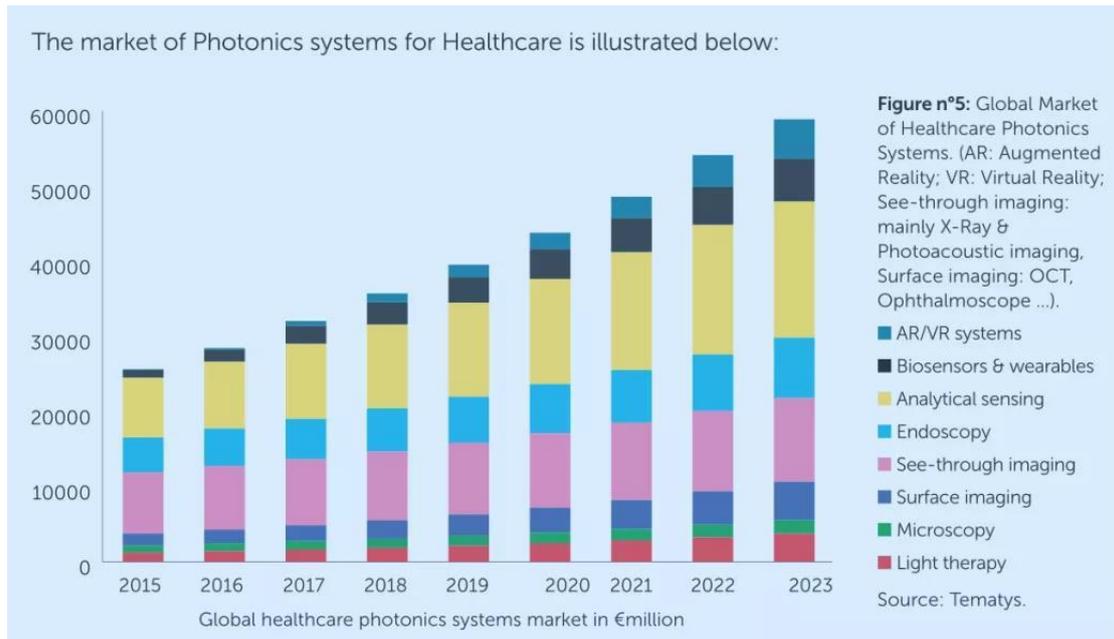


图 1 全球医疗光子技术市场规模图

目前，欧洲由于传统公司、初创企业、大学和研究机构已经形成了丰富的创新版图，因此在未来医疗光子技术市场的竞争中具备着得天独厚的优势。基于此，该报告对未来医疗光子技术发展的技术挑战、解决策略和路线图进行了分析和总结，如表 4 所示。



	2021/2022	2023/2024	2025/2026	2025/2026	2027
研究目标	移动式生物传感器	光子诊断与治疗	病理的认知和预防	光子测序	光子筛选和控制
工程化标志	新型生物相容性材料	光学组件的小型化和集成化：	光子器件的开发：		
	光子学、电子学和微流体的集成：	(1) 3D无标记组织病理学和治疗模式；	(1) 宽带 (UV-VIS-MIR) 脉冲激光光源；		
	(1) 光学组件的小型化；	(2) 小型细胞/脑氧合测量成像平台；	(2) 高灵敏宽带 (UV-VIS-MIR) 探测器及其组件；		
	(2) 低成本小型化宽带光源、探测器；	(3) 用于高级体液分析的光学、电子和微流体组件集成POC系统。	(3) 新型低成本/“绿色”光学系统及其组件；		
	(3) 高效率、高可靠性的设备展示。		(4) 成像应用模块的开发及标准化。		
光子学研究与创新方向	(1) 稳定、可重复、连续的体表/体内生物传感器光学接触方式；	(1) 基于增强现实的3D无标记组织病理学和治疗模式光学系统及其组件；	(1) 新型光子应用器件 (新药开发、毒性测试、细胞/器官功能/健康状况测试与了解)。	(1) 即时蛋白质组学、基因组学、代谢组学DNA测序 (时长 <10 min)。	(1) 用于长期测试或筛选高样本量新药的光子器件；
	(2) 生物标志物研究；	(2) 用于体液快速分析的新型POC设备；			(2) 人造器官/生物传感器的组织生长监测；
	(3) 新型移动式生物传感器 (如体液生物传感器)、新型便携式成像系统；	(3) 高精度小型化细胞/脑氧合测量成像平台。			(3) 用于研究疾病发展/早期疾病检测和诊断的光子器件。
交叉学科 & 交叉项目	ETP 生物相容性材料：EuMaT；	ETP 纳米医学 (生物标记)；	ETP 4 HPC：开发数据处理和评估；		
	ETP 4 HPC：开发数据处理和评估；	欧洲智能系统集成技术平台；	ETP 纳米医学 (生物标记)		
	ETP 纳米医学 (生物标记)	EPoSS、ETP 4 HPC：数据处理和评估开发			

表 4 医疗光子技术路线图

04  
其他

除了以上三个主要领域的路线图外，该报告还针对其他几个领域做出了详细的路线图规划。

制造业

数字化，以及制造和材料的可持续循环方法，将是未来制造业的基础，而光子学恰是未来制造和加工行业解决方案的重要方向之一。针对该方向，该报告同样对光子学在制造业的路线图进行了一系列的规划，主要包括以下几个部分：

**新型激光器及相关组件：**高功率/高强度激光材料、薄膜和相关组件；高功率、高灵敏的超短脉冲激光器；不同波长的高亮度二极管激光器(连续和脉冲)等。

**光束传输、整形和偏转系统：**非机械式高速光束扫描系统；可重新配置和可编程的光束整形系统；快速监测和定量反馈系统等。

**工业 4.0:** 激光加工系统集成传感器; 高吞吐量的并行处理; 工程化集成仿真工具等。

**质量控制和无损检测:** 实时过程控制; 在线无损检测; 基于大数据关联、超模型的质量预测等。

**激光专用材料开发:** 增材制造用合金和材料; 电子/光子专用材料; 激光加工用高性能材料。

### 核心光子学技术平台

核心光子学技术平台的作用是确保基础技术开发到位, 以支持特定的应用开发, 从而为当前面临的社会经济挑战提供解决方案。而发展核心光子学技术平台的主要目标有以下几点:

- **增强平台功能和光谱覆盖范围**, 以促进生物医学、环境、工业和传感领域的新应用;
- **不断提高性能**, 以满足通信、传感和控制系统日益复杂的需求, 同时支持基于量子技术和新计算架构(如神经网络)的新应用;

- **侧重于光子电路和系统的创建**，在光子集成技术的基础上，结合其他光子器件，如成像传感器、微机电系统(MEMS)、微电子技术和先进的组装技术，以最有效的方式实现完整的系统；
- **继续对平台和试点生产线进行投资**，以满足不断变化的应用需求，缩小供应链中的差距，并加强向批量生产的过渡。

针对以上四个目标，报告将**光子集成系统、传感/通信光子集成电路 (PICs)、电子系统应用中的光子替代、未来技术平台的新型器件**等作为未来研究的几个重点方向。

### 光子学研究/教育和技术培训

在一个以知识为基础的社会里，光子学是创新的主要驱动力，也是一门旗舰科学。为了充分利用它的颠覆性潜力，政府、公司、教育工作者、学生和所有学科和普通公民都需要越来越多地意识到利用光线促进可持续发展、绿色交易、经济增长和造福人类所固有的机遇。

针对这一方面，报告中也对其提出了相应的目标：定义未来光子学劳动力的技能，并给予适当的培训；面向年轻人、学生、光子学和非光子学专业人士以及普通大众进行相应的光子学知识宣传；开发教育和技术培训的新方法；在光子创新中心和整个产业链中开展颠覆性研究；支持创建光电子创新中心；建立欧

洲培训机构网络；积极参与数字产业倡议，支持光电子(和非光电子)中小企业数字化；宣传光子学对传统工作数字化转型的贡献。

## 总结

光子学技术是兼具科技前瞻性和市场应用性的技术，对未来科技的发展至关重要。

该报告一方面以政治为导向，说明了光电子技术对于实现欧盟战略目标和指标的极端重要性；另一方面针对“数字基础设施”、“环境”和“健康”三个主要领域，“制造业”、“安全/安保/空间和国防”、“农业和食品”、“核心光子学技术平台”、“光子学研究/教育和技术培训”5个其他领域做出了详细的路线图规划。

该路线规划不仅可以作为欧洲下一步光电子技术发展的蓝图还可以作为其他地区科研人员及公司研发人员的参考方向。

来源

[1][https://www.osa-opn.org/home/industry/2020/december/an\\_updated\\_roadmap\\_for\\_european\\_photonics/](https://www.osa-opn.org/home/industry/2020/december/an_updated_roadmap_for_european_photonics/)  
[2]<https://www.flipsnack.com/Photonics21/photronics-strategic-research-and-innovation-agenda/full-view.html>