



# COMUNICAÇÃO ÓPTICA SEM FIO

---

Edição Primeira, 2025

Ke Xizheng , PhD

Ke Chenghu , PhD

Wu Jiali , PhD

## Publicações Científicas de Macau

*Endereço: Bloco 1, 11º andar, Edifício Hengchang, Avenida Nanwan, Macau, 999078, China Site web: [www.mospbs.com](http://www.mospbs.com) | moaj.mospbs.com Para obter mais informações, entre em contato pelo e-mail: [book@mospbs.com](mailto:book@mospbs.com)*

*Esta publicação está protegida por direitos autorais. Exceto se houver disposições contrárias previstas em exceções legais ou de acordo com as cláusulas estabelecidas em acordos de licenciamento coletivo relevantes, qualquer reprodução de qualquer trecho desta publicação é estritamente proibida sem a obtenção de autorização por escrito da Macao Scientific Company.*

*Para obter informações detalhadas sobre o processo editorial da Macao Scientific Publishers, gentilmente visite nosso site oficial: <https://www.mospbs.com/>*

Para obter informações detalhadas sobre o processo editorial da Macao Scientific Publishers, acesse gentilmente nosso site oficial: <https://www.mospbs.com/>

Direitos Autorais © Macao Scientific Publishers. Todos os direitos reservados.

## Comunicação Óptica Sem Fio

Capa dura

Contagem de Palavras: 777,000 palavras

Edição Primeira: Novembro de 2025

Publicado pela Macao Scientific Publishers (MOSP)

Impresso pelo HanLin Publishing Group, Macau, China

Data de Impressão: Novembro de 2025

ISBN 978-99996-42-42-2

---

*Se houver qualquer problema de qualidade com este livro, entre em contato pelo e-mail: [book@mospbs.com](mailto:book@mospbs.com).*



## APRESENTAÇÃO DO AUTOR

Ke Xizheng, homem, etnia Han, membro da Aliança Democrática Chinesa. Nascido em outubro de 1962, na cidade de Lintong, província de Shaanxi. Formou-se em 1996 pela Universidade da Academia Chinesa de Ciências, obtendo o grau de doutor em Ciências. De 1997 a 2002, realizou pós-doutorado na Universidade de Eletrônica e Tecnologia de Xi'an e na Academia de Engenharia do Segundo Corpo de Artilharia. Desde 2002, é professor (nível técnico II) e orientador de doutorado na Universidade de Tecnologia de Xi'an. É um professor renomado da província de Shaanxi e especialista na avaliação de prêmios nacionais de ciências e tecnologia. Vice-diretor do "Laboratório Chave de Construção Conjunta Militar-Civil de Redes Colaborativas Inteligentes" da província de Shaanxi. Membro da Sociedade Chinesa de Eletrônica, acadêmico estrangeiro da Academia de Ciências Naturais da Rússia. Já foi diretor da Sociedade Chinesa de Engenharia Óptica e da Sociedade Óptica da província de Shaanxi. Vice-presidente da Associação de Cooperação Industrial da China nas áreas de Novas Energias e Materiais, membro sênior da Associação de Instrumentos e Medições da China, membro sênior da Sociedade Chinesa de Engenharia Óptica, membro honorário vitalício da Sociedade Chinesa de Óptica. Membro executivo da Comissão de Análise de Sinais Dinâmicos da Sociedade Chinesa de Engenharia de Vibração. Membro da Sociedade Óptica dos Estados Unidos, membro vitalício da Sociedade de Engenharia Óptica dos Estados Unidos. Especialista na avaliação de prêmios nacionais de ciência e tecnologia e membro do terceiro Comitê de Avaliação de Disciplinas da Comissão de Graus Acadêmicos de Shaanxi. Também é membro do conselho editorial de mais de 10 periódicos, incluindo a Electronic Journal.

Integrou as disciplinas de "Circuitos" e "Sistemas e Sinais", "Fundamentos de Eletrônica Analógica" e "Circuitos Eletrônicos de Alta Frequência", "Circuitos Eletrônicos Digitais" e "Princípios de Microcomputadores" em três cursos: "Circuitos, Sinais e Sistemas", "Circuitos Eletrônicos Analógicos e de Comunicação" e "Lógica Digital e Microprocessadores", tornando o sistema de ensino mais completo. Escreveu o primeiro livro didático de "Comunicação Óptica Sem Fio" na China e criou um sistema de ensino completo para essa área.

Desenvolveu o campo de "Sistemas de Comunicação e Informação", com "Tecnologia e Teoria de Comunicação Óptica Sem Fio" como linha principal para a formação desse campo, criando um sistema de ensino e treinamento completo. Apoiou o objetivo de construir uma universidade "de primeira linha", fazendo com que o campo passasse de inexistente a existente, e de bom a excelente, alcançando um grande avanço qualitativo. Em 2003, obteve o direito de conceder o grau de mestre em "Sistemas de Comunicação e Informação", em 2005 obteve o direito de conceder o grau de mestre em "Engenharia de Informação e Comunicação", em 2010 obteve o direito de conceder o grau de mestre em "Engenharia Eletrônica e de Comunicação", e concluiu a avaliação de qualificação em 2018. O curso de "Engenharia de Comunicação" que ele supervisiona na Universidade de Tecnologia de Xi'an foi aprovado como um ponto de construção de curso destacado de nível provincial na província de Shaanxi em 2011. Em 2015, foi aprovado como uma equipe de ensino universitário de excelência na província de Shaanxi e como um campo experimental de inovação no modelo de treinamento de talentos em universidades de graduação da província. Em 2019, obteve o título de "Curso de Primeira Linha" da província de Shaanxi. Em 2020, obteve a aprovação como ponto de construção de um curso de primeira linha nacional e passou na certificação de engenharia em 2020.

Foi presidente de conferências acadêmicas internacionais/nacionais e fez mais de 100 apresentações principais. Em 2000, recebeu o Prêmio de Jovem Cientista Excepcional da Academia Chinesa de Ciências. Em 2009, recebeu o título de "Excelente Especialista em Ciência e Tecnologia" do Ministério da Ciência e Tecnologia e do Ministério da Educação da província de Guangdong. Em 2015, foi nomeado "Líder do Projeto Verde e Dourado" na cidade de Yangzhou. Em 2018, ganhou o Prêmio de Inovação em Cooperação entre Indústria e Pesquisa Científica da China, e em 2019, obteve o segundo prêmio em Inovações e Resultados de Cooperação entre Indústria e Pesquisa Científica. Em 2020, recebeu o título de "Trabalhador Científico e Tecnológico Excepcional" da Sociedade de Eletrônica da China. Desde 2001, recebeu mais de 20 prêmios científicos e tecnológicos em nível provincial e ministerial, e obteve mais de 50 patentes de invenção. Publicou mais de 30 livros com a Editora Científica e a Springer, publicou mais de 500 artigos acadêmicos e formou mais de 30 doutorandos, sendo uma figura renomada no campo da eletrônica e da informação.

# INTRODUÇÃO

A tecnologia de comunicação óptica sem fios, que utiliza a luz como suporte de informação, tem vantagens como uma elevada largura de banda, um baixo atraso, uma alta velocidade de transmissão e uma ampla gama de espectro. Consoante o canal de transmissão de luz, a comunicação óptica sem fios pode ser dividida em comunicação por luz ultravioleta, comunicação por luz visível e comunicação por luz subaquática, entre outras. No entanto, o ambiente do canal tem um grande impacto na transmissão de luz, e como tal, a forma de suprimir e compensar o impacto do ambiente do canal na transmissão de laser tem sido um foco importante da investigação na área da comunicação óptica sem fios.

Este livro contém 10 capítulos, que apresentam uma descrição detalhada dos princípios da comunicação óptica sem fios. Os principais tópicos abordados incluem os princípios da comunicação óptica sem fios, a codificação e modulação de sinais ópticos, as características de transmissão de vários canais ópticos, as tecnologias de captura, alinhamento e rastreamento, bem como uma explicação detalhada dos princípios da transmissão óptica coerente e das tecnologias de comunicação do futuro.

Este livro é o resultado do trabalho do autor durante o seu período como professor honorário na Xi'an University of Arts and Sciences, bem como do trabalho da Estação de Trabalho de Académicos em Comunicação Óptica Sem Fios e Tecnologias de Rede da Xi'an University of Arts and Sciences. Gostaria de agradecer à Xi'an University of Arts and Sciences pela sua ajuda e apoio na publicação deste livro.

O trabalho de investigação deste livro foi apoiado pelo projeto do Fundo Nacional de Ciências Naturais (61377080), pelo projeto de Inovação Industrial Prioritária da Província de Shaanxi (2017 ZDCXL-GY-06-01), pelo projeto do Plano de Investigação Básica em Ciências Naturais da Província de Shaanxi (2024JC-YBMS-562) e pelo projeto de Investigação Básica em Ciências Matemáticas e Físicas da Província de Shaanxi (23JSQ024). Agradecemos a sua colaboração.

Agradeço aos autores das referências bibliográficas deste livro, bem como aos investigadores que não foram incluídos nas referências, cujo trabalho foi uma fonte de inspiração profunda para o autor.

Devido às limitações do conhecimento do autor, o livro pode conter imprecisões e erros. Peço aos leitores que me critiquem e me corrijam, se necessário.

# TABLE DES MATIÈRES

## APRESENTAÇÃO DO AUTOR, I INTRODUÇÃO II

1. Sistemas de Comunicação Óptica Sem Fios, *1*
2. Comunicação por Luz Coerente, *64*
3. Modulação, Desmodulação e Codificação, *113*
4. Canais Atmosféricos, Estimativa de Canais e Equalização de Canais, *205*
5. Comunicação e Ligação em Eede com LEDs Brancos, *269*
6. Comunicação Óptica Subaquática, *332*
7. Comunicação por Luz Ultravioleta, *395*
8. Técnicas de Captura, Mira e Rastreamento, *440*
9. Transmissão de Luz Parcialmente Coerente, *473*
10. Tecnologias de Comunicação do Futuro, *522*

## Capítulo - 1

# Sistemas de Comunicação Óptica Sem Fios

A comunicação ótica é um método de comunicação que utiliza ondas de luz como portadoras. A comunicação ótica pode ter ou não guias de ondas. A comunicação por fibra ótica consiste na transmissão de luz ao longo de um guia de ondas (fibra ótica). A comunicação ótica sem fios não necessita de guias de ondas, sendo a luz transmitida no espaço livre. A comunicação ótica sem fios, também conhecida como comunicação ótica no espaço livre (free-space optical, FSO), combina as vantagens da comunicação por fibra ótica e da comunicação por micro-ondas, oferecendo uma grande capacidade de comunicação sem a necessidade de instalar fibra ótica ou obter licenças de espectro. Este capítulo apresenta o modelo e os conceitos básicos dos sistemas de comunicação ótica sem fios.

### 1.1 Modelo de comunicação ótica sem fios

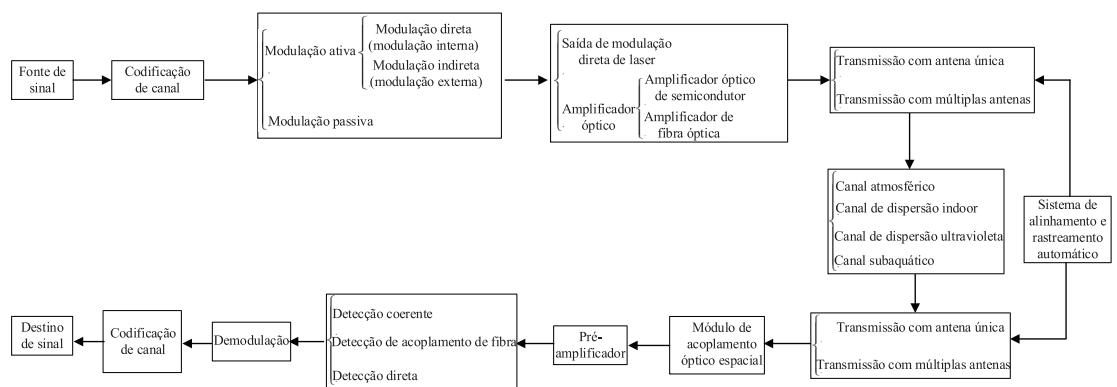


Figura 1.1 Modelo de comunicação ótica sem fios

2019

# 历史机遇 · 打造交流合作基地

Historic Opportunity · Build Communication And Cooperation Bases



## 大湾区规划 · Introduction

《粤港澳大湾区发展规划纲要》明确了澳门“一个中心、一个平台、一个基地”的三个定位，即：建设世界旅游休闲中心、中国与葡语国家商贸合作服务平台，**打造以中华文化为主流、多元文化共存的交流合作基地**。

It further clarified the three orientations of "one center, one platform and one base" of Macao, namely, to build a world tourism and leisure center, a business and trade cooperation service platform between China and Portuguese-speaking countries, and to build an exchange and cooperation base with Chinese culture as the mainstream and multicultural coexistence.

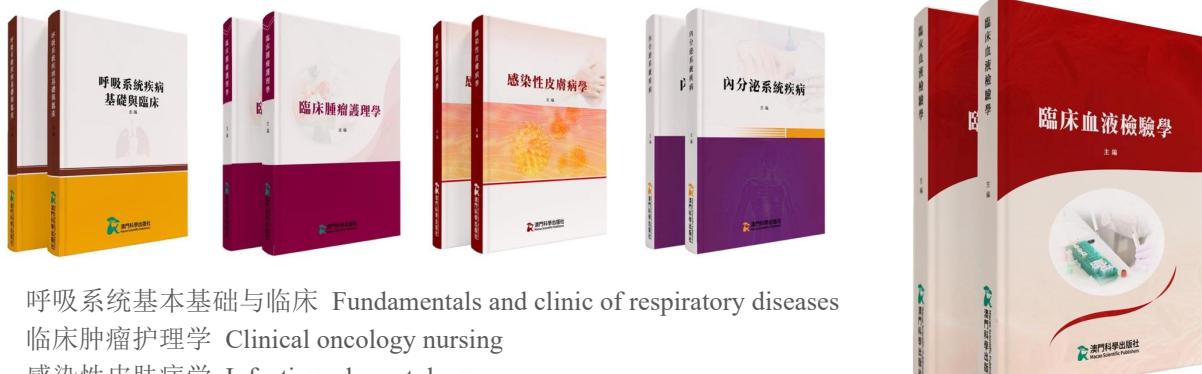




## 全球发行 · Publishing worldwide

由于国内自费书没有实际销售,出版社不会实际发行,属于非正式出版物,因此国内自费书绝大部分是属于非正式出版物。国际出版即便在没有销售市场的情况下也可以在海外发行上架。世界上其他地方(包括中国)的读者可以通过海外电商平台进行订购和销售。

Since there is no market for self-funded books in mainland China, mainland publishing houses will not actually issue them, so most of self-funded books in the Mainland are informal publications.



- 呼吸系统基本基础与临床 Fundamentals and clinic of respiratory diseases
- 临床肿瘤护理学 Clinical oncology nursing
- 感染性皮肤病学 Infectious dermatology
- 内分泌系统疾病 Endocrine system disease



- 实用小儿内科学 Practical pediatric internal medicine
- 消化系统疾病诊疗学 Diagnosis and treatment of digestive system diseases
- 现代中医诊断学 Modern diagnostics of traditional Chinese medicine
- 皮肤修复与再生 Skin repair and regeneration

## 出版流程 · Publishing Process

出版流程快速简便，在填写基本信息、签订合同并支付费用后，IBPC将原始内容进行校对、排版及封面设计；在经过多次校对后，提交申请国际书号；可根据实际需求进行印刷和馆藏存档，最后上架发行。全程专人沟通指导，以极高性价比的方式出版属于自己的作品。

The publishing process is simple and convenient, after filling in the basic information, signing the contract and paying the fee, IBPC will conduct proofreading, typesetting and cover design. After multiple proofreading, submit the ISBN application. According to the actual needs, we will arrange printing and collection archiving, and finally put on the shelves and issued.

## 检索服务 · Retrieval Service

IBPC的检索服务可提供出版物国际注册文件及出版物所在地的图书馆检索证明，为作者提供证明文件支撑。同时，优秀图书将推荐至国际数据库中收录，提升出版物的认可度。

IBPC can provide retrieval service including the registration documents and the library search certificate. Meanwhile, excellent books will be recommended for inclusion in authoritative databases to enhance the recognition of publications.

## 销售协议 · Sales Agreement

作者签订销售合作协议后，IBPC可提供多种上架渠道，包括官网、京东、天猫、亚马逊、当当网等平台，可销售字纸印本与电子图书等形式，并按照合作协议进行利润分成。

After the author signs the sales agreement, IBPC can provide a variety of sales channels, such as the official website, JD & Tmall overseas Purchase, Amazon and other platforms, printed paper and electronic books are available, and the authors share the profits according to the sales agreement.

 填写信息  
Information Filling

 签订合同  
Contract Signing

 支付费用  
Payment

 提交书稿  
Submitting



内容校对  
Proofreading  
内容排版  
Content Layout  
封面设计  
Cover Design

 申请书号  
ISBN Apply

 印刷出版  
Printing

 馆藏存档  
Archives

 上架发行  
Publication

# 澳门科学出版社 MOSP

“以服务青少年及青年科学才俊为己任，  
打造国际性的科学技术交流平台”



## 正规国际出版，首选澳科出版

- 学术著作/个人作品 - 优质
  - 中华“强国文化”输出战略 - 翻译后国际出版
  - 数字教材 - 教材出书 & 数字化媒体上线
- 所有优质内容，均可申请出版减免资助。
- 所有澳门本土内容，均可申请出版减免资助；

### 澳门总部

电话: 0853-62961666 (澳门)

邮件: book@mospbs.com

地址: 中国澳门南湾大马路恒昌大厦F座11楼

网址: [www.mospbs.com](http://www.mospbs.com) (英文) | [moaj.mospbs.com](http://moaj.mospbs.com) (中文)

特别提醒: MOSP所有业务均有出版社的正规盖章合同，  
若有任何疑问，可联系出版社编辑确认。