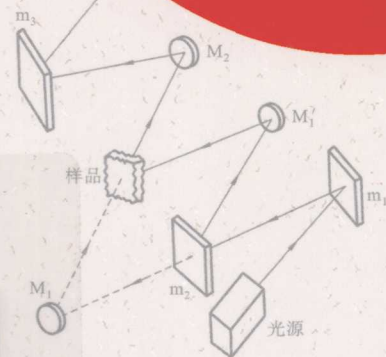
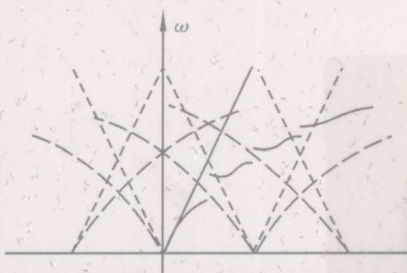
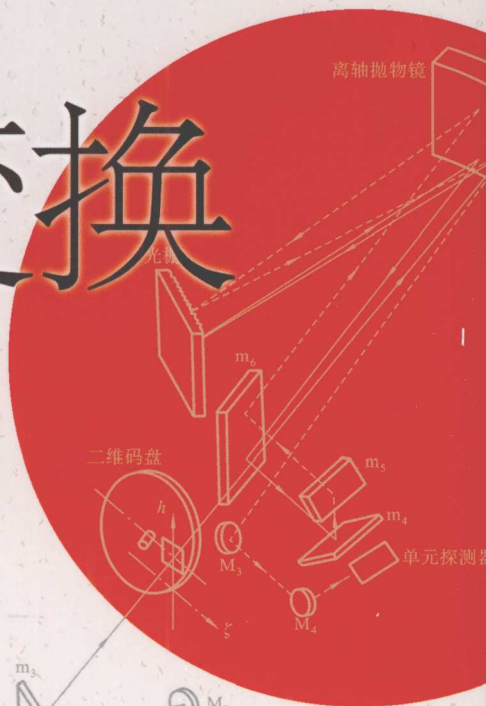




国家“十一五”重点图书出版规划项目  
国家科学技术学术著作出版基金资助

# 阿达玛变换 光学成像

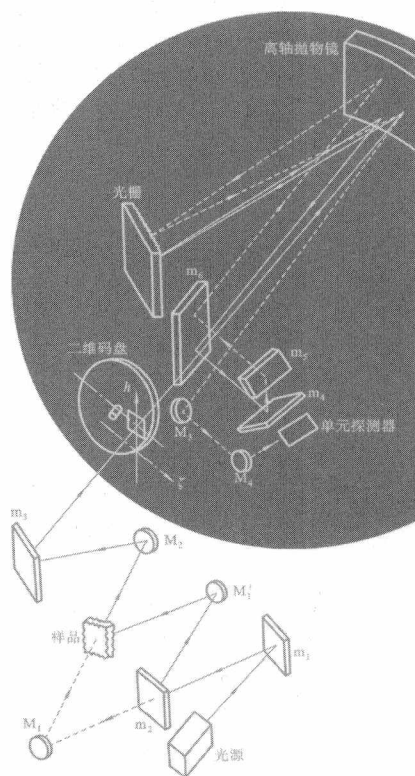
叶虎年 叶梅 杨新立




国家“十一五”重点图书出版规划项目  
国家科学技术学术著作出版基金资助

# 阿达玛变换 光学成像

叶虎年 叶梅 杨新立



YZLI0890146441

 华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>  
中国·武汉

## 内 容 提 要

本书分三篇。第一篇介绍远场阿达玛变换光学成像,包括绪论、阿达玛变换成像光谱技术的基本原理、编码矩阵与解码算法、阿达玛变换成像光谱仪的光学机械系统设计、阿达玛变换成像光谱仪的电学系统设计、模板位置误差对测量的影响、精细采样与快速 $\delta$ 阿达玛变换、阿达玛变换成像光谱实验及结果分析等内容。第二篇介绍近场阿达玛变换光学成像,包括近场阿达玛变换光学成像概述、用于近场光学成像研究的各种宏观理论、微观传播子自治场理论对近场光学显微镜的研究、近场光学显微镜的一种新模型——准静态电磁场、亚波长小孔中的光、非探针红外近场光学显微镜关键技术的研究、非探针红外近场光学显微镜的成像测量等内容。第三篇介绍太赫兹波阿达玛变换成像,包括太赫兹波、超分辨太赫兹成像与光谱方法、阿达玛变换太赫兹波光学的特点、阿达玛变换光学方法的联用等内容。

本书可供从事有关分析仪器、科学仪器领域工作的本科生、研究生及相关工作人员阅读和参考,也可从事阿达玛变换光学有关问题的研究和讨论的人员提供一些可参考的线索和有益的启示。

### 图书在版编目(CIP)数据

阿达玛变换光学成像/叶虎年 叶梅 杨新立. —武汉:华中科技大学出版社,2012.1  
ISBN 978-7-5609-7320-3

I. 阿… II. ①叶… ②叶… ③杨… III. 光学-成像-技术 IV. O435.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 177130 号

阿达玛变换光学成像

叶虎年 叶梅 杨新立

策划编辑:王连弟

责任编辑:姚同梅

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787mm×996mm 1/16

印 张:19.75 插页:3

字 数:420千字

版 次:2012年1月第1版第1次印刷

定 价:88.00元

责任校对:刘竣

封面设计:刘卉



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 前 言

光学成像与光谱技术已经为人类认识客观世界作出了巨大的贡献,其中的显微术在探索微观世界、发展微纳技术方面正发挥越来越重要的作用,然而对于活体目标,诸如细胞这样的表面富含微小凸起的重要目标的成像与光谱分析却遇到挑战:在以针尖状各类实体探针为基础的超分辨探针扫描成像中,针尖与目标表面微小凸起间存在着相互作用,干扰了目标的正常状态。因而,人们更加需要寻找不用探针的显微术。2008年,美国 science 杂志报道了美国与德国科学工作者联合研发成功的可见结构光亚衍射多色显微镜,其绝对分辨能力达到了 100 nm。这是常规远场光学显微镜所达到的最高分辨能力,为亚细胞探测提供了一个新的研究平台。

远场光学显微术是以电磁场的传导波与目标相互作用为前提,提取目标相关信息的技术。电磁场还会以隐失波的形式与目标相互作用,以此为基础的目标探测技术则是近场光学探测技术。相信这两种不同的电磁场存在形式与目标相互作用所反映的目标特征对于客观认识所观察的目标是能够互补的。本书正是基于这个认识,在国家科学技术学术著作出版基金资助下,把本研究集体师生近十多年来在国家自然科学基金(No 30170276、No 10176010、No 30627001、No 60672058)和原国家科委基础研究专项基金支持下研究得到的一些认识汇集起来,在系统讨论远场光学阿达玛变换光学方法的基础上,着重介绍了不用探针的光学隐失波成像与光谱探测方法,即阿达玛变换光学近场探测方法。希望能将可见光和太赫兹波用于宽视场超分辨显微术,为更真实地探测生命世界的微观现象探路。

本书分三篇,具体内容如下。

第一篇:首先分析了弱辐射成像光谱测量的特点及其对光谱仪器的基本要求——多通道探测,通过对现有的各种多通道光谱技术与仪器进行分析和比较,系统地阐述了基于模板调制和单元探测器的阿达玛变换成像光谱技术在弱辐射成像光谱测量中的一般方法;提出了三维图谱函数的概念,用以描述被测对象的图像与光谱信息,基于此,建立了阿达玛变换成像光谱编码测量的数学模型,给出了解码再现图谱信息的具体方法;研究了阿达玛变换光学系统对于扰动的响应规律,给出了修正扰动影响的方法,并提示了这种扰动响应对编码矩阵选择的限制;讨论了编码矩阵的确定及其构造方法,给出了基于循环 S 矩阵的循环编码设计;介绍了采用对称  $\pi$  变换和快速阿达玛变换(FHT)研制的快速解码软件;介绍了旋转式二维编码实验型阿达玛变换成像光谱仪,给出了出射模板与二维模板编码构形的匹配设计;分析了模板均匀透射率缺陷对测量信噪比的影响,提供了评判模板质量的依据,建立了编码模板沿色散(或编码运动)方向的位置误差与仪器系统的传递矩阵 T 之间的普遍关系式,为系统误差的分析提供了一些理论依据;建立了阿达玛变换成像光谱测量的精细采样方法



和快速  $\delta$  阿达玛变换(FDHT)解码算法,系统地分析了阿达玛变换成像光谱仪系统的光谱响应,然后在实验测定的基础上,给出了系统的光谱响应及其校正方法。

第二篇:在宏观电磁场理论的基础上,研究了一种探测近场光学显微镜中样品近场光分布特性的模型,应用矢量衍射理论,得到了系统的场方程;在小孔衍射偶极子理论模型和光波导理论的基础上,推导了有限厚导体屏上纳米小孔近场光强的分布公式,研究了小孔近场电磁场分布的严格解;应用电磁场准静态近似理论中的镜像理论方法,在不引入边界条件的情况下,研究了一种模拟近场光学显微镜的简便方法,在此新型理论模型的基础上,对近场光学显微镜中的一些重要结论进行了详细的讨论;探讨了不同方向偏振入射光对近场扫描显微镜成像质量的影响;讨论了亚波长小孔阵列的主要光学特性,介绍了亚波长小孔阵列的奇异光透射的主要理论,研究了可用于成像的隐周期亚波长小孔阵列,为亚波长小孔阵列直接用于成像找到了有效的方法;详细讨论了阿达玛变换光学近场编码成像方法中的编码方法,特别提出了基于面阵探测器的能够实现宽视场的亚像元分割编码方法。

第三篇:介绍了太赫兹成像与光谱技术的基本情况,以及阿达玛变换光学方法在太赫兹成像与光谱探测中的可能应用;讨论了用于太赫兹波段的有关材料和部件的加工方法,以及阿达玛变换光学方法与几种分析技术的联用,特别介绍了基于表面等离子共振的局域电化学电流成像方法和阿达玛变换光学方法在局域电化学电流成像中的可能应用。

在课题研究和本书撰写过程中,我们参考和引用了诸多相关文献和专著,特别是 Harwit M, Sloane N J A 的“Hadamard Transform Optics”及他们的其他多篇文献, Ebbesen T W 和他的合作者的多篇文献, Xiaonan S 等人的“Imaging Local Electrochemical Current via Surface Plasmon Resonance”, Haitao L 等人的“Microscopic Theory of The Extraordinary Optical Transmission”和 Pendry J B 等人的“Mimicking Surface Plasmons with Structured Surfaces”,等等,在此对有关作者表示诚挚的谢意。特别感谢编辑王连弟女士和姚同梅女士,她们对本书的出版付出了辛勤的劳动,作出了重要贡献。刘锦先生为本书的列题、方案讨论、资助申请等前期工作付出了不懈的努力,极具敬业精神,对他的帮助深表感谢。佟文珍女士仔细审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,对提高本书的出版质量作出了贡献,在此表示感谢。感谢叶朝辉院士和熊有伦院士在本书撰写中所给予的多方面帮助。

本书第一篇主要由叶虎年撰写,第二篇及第三篇的大部分主要由叶梅撰写,第三篇其余部分由杨新立撰写。

阿达玛变换光学方法本身还处于继续发展之中,与其他分析方法的联用还有广阔的前景,本书只是汇集了作者所在研究集体的工作人员、博士生、硕士生在过去的十多年中学习和研究的成果。希望通过本书的出版能够给对阿达玛变换光学成像方法感兴趣的读者起到抛砖引玉的作用。由于作者水平有限,书中缺点和错误一定不少,诚望读者批评指正。

# 目 录

## 第一篇 远场阿达玛变换光学成像

第 1 章 绪论	(3)
1.1 问题及其目的和意义	(3)
1.2 多通道成像光谱技术与仪器概述	(4)
1.2.1 多通道成像光谱技术	(4)
1.2.2 多通道光谱仪器	(5)
1.3 阿达玛变换光谱技术和仪器的发展与研究现状	(8)
1.3.1 阿达玛变换光谱技术的形成	(8)
1.3.2 阿达玛变换光谱技术与仪器的发展	(10)
1.3.3 国内外研究现状	(10)
1.4 本篇的主要内容	(13)
第 2 章 阿达玛变换成像光谱技术的基本原理	(14)
2.1 称重设计与光学多通道技术	(14)
2.1.1 称重设计	(14)
2.1.2 光学多通道技术	(16)
2.2 阿达玛变换成像光谱仪的基本组成	(16)
2.3 编码成像光谱测量数学模型	(17)
2.3.1 编码测量	(17)
2.3.2 图谱信息的估计	(18)
2.4 图像与光谱的再现	(19)
2.4.1 色散平移与像元/谱元的分布	(19)
2.4.2 图像与光谱的再现过程	(20)
2.4.3 阿达玛变换光学系统对扰动的响应规律	(21)
2.4.4 信号强度起伏与光学编码测量	(21)
2.5 对扰动响应规律的应用研究	(24)
2.5.1 关于光源稳定性	(24)
2.5.2 在一个编码周期中编码测量的定位精度	(25)
2.6 最大通量阿达玛变换光学	(27)
2.6.1 阿达玛变换成像原理	(27)
2.6.2 阿达玛变换成像信道通量与最小可测量信号分析	(28)
本章小结	(30)
第 3 章 编码矩阵与解码算法	(31)

3.1	编码矩阵的确定	(31)
3.1.1	H 矩阵与 S 矩阵	(31)
3.1.2	H 矩阵与 S 矩阵的编码分析	(32)
3.2	循环 S 矩阵的构造	(32)
3.2.1	m 序列	(33)
3.2.2	伪随机序列	(34)
3.2.3	循环 S 矩阵构造	(35)
3.3	循环 S 矩阵与 $\pi$ 变换	(35)
3.3.1	$\pi$ 变换的确定	(36)
3.3.2	对称 $\pi$ 变换	(36)
3.4	快速阿达玛变换	(38)
3.4.1	快速阿达玛变换算法	(38)
3.4.2	快速阿达玛变换程序流程图	(39)
3.5	快速解码算法及其软件	(40)
3.5.1	解码公式	(40)
3.5.2	乘 $T_n$ 的快速算法	(41)
3.5.3	解码流程图	(41)
	本章小结	(42)
<b>第 4 章</b>	<b>阿达玛变换成像光谱仪的光学机械系统设计</b>	<b>(43)</b>
4.1	光学系统设计	(43)
4.1.1	色散系统	(45)
4.1.2	前置成像系统	(46)
4.1.3	探测器光学系统	(47)
4.2	编码模板设计	(48)
4.2.1	码元尺寸的确定	(49)
4.2.2	$R_0$ 的确定	(50)
4.2.3	谱线弯曲及其补偿	(51)
4.3	模板的制作及其缺陷分析	(54)
4.3.1	模板的制作	(54)
4.3.2	模板透射率缺陷对多通道性能的影响	(55)
4.4	编码运动机构设计	(58)
4.4.1	出射模板运动机构	(58)
4.4.2	二维模板运动机构	(58)
	本章小结	(59)
<b>第 5 章</b>	<b>阿达玛变换成像光谱仪的电学系统设计</b>	<b>(60)</b>
5.1	阿达玛变换成像光谱仪的电学系统概述	(60)

5.2	模板定位系统设计	(61)
5.2.1	出射模板的复位与定位	(61)
5.2.2	二维模板的定位检测	(62)
5.3	步进电动机控制系统	(63)
5.3.1	驱动电路设计	(63)
5.3.2	接口电路设计	(64)
5.3.3	电源板设计	(65)
5.3.4	定位信号检测电路	(66)
5.4	信号检测系统设计	(67)
5.4.1	光束调制器	(67)
5.4.2	探测器与前置放大电路	(68)
5.4.3	窄带滤波电路的设计	(69)
5.4.4	调制同步信号与同步解调	(70)
5.5	系统控制软件	(70)
	本章小结	(71)
<b>第6章</b>	<b>模板位置误差对测量的影响</b>	<b>(73)</b>
6.1	引言	(73)
6.2	单入射狭缝的光谱分布	(73)
6.2.1	色散系统的脉冲响应	(73)
6.2.2	多色辐射的光谱分布	(75)
6.2.3	辐射 $F(\lambda)$ 的描述	(76)
6.3	传递矩阵	(77)
6.4	位置误差与矩阵 $T$ 的关系	(78)
6.4.1	位置误差与矩阵 $T$ 的关系	(78)
6.4.2	矩阵 $T$ 的构造	(80)
6.5	出射模板位置误差对光谱测量的影响	(80)
6.5.1	小误差情形	(81)
6.5.2	位置误差为 $\pm kb$ 的情形	(86)
6.6	二维模板位置误差对图像测量的影响	(87)
6.6.1	整数个像元位置误差	(87)
6.6.2	小于半个像元尺寸的位置误差	(89)
6.6.3	模板宽度对光谱的影响	(90)
	本章小结	(91)
<b>第7章</b>	<b>精细采样与快速 <math>\delta</math> 阿达玛变换</b>	<b>(92)</b>
7.1	概述	(92)
7.2	精细采样与 $\delta$ 解码	(93)



7.2.1	精细采样	(93)
7.2.2	$\delta$ 解码	(93)
7.3	快速 $\delta$ 阿达玛变换	(95)
7.3.1	一维快速 $\delta$ 阿达玛变换(FDHT)算法	(95)
7.3.2	像面编码的精细采样与快速 $\delta$ 阿达玛变换的分析	(96)
7.4	快速 $\delta$ 阿达玛变换的实际应用与分析	(98)
7.4.1	成像光谱测量的改进	(98)
7.4.2	精细采样的应用分析	(99)
	本章小结	(100)
<b>第8章</b>	<b>阿达玛变换成像光谱实验及结果分析</b>	(101)
8.1	系统的光谱响应及其校正	(101)
8.1.1	光谱响应的确定	(101)
8.1.2	光谱响应校正	(105)
8.2	阿达玛变换成像光谱测量实验	(105)
8.2.1	光谱单编码测量	(105)
8.2.2	成像光谱测量	(108)
	本章小结	(110)
	本篇总结	(111)
<b>第二篇 近场阿达玛变换光学成像</b>		
<b>第9章</b>	<b>近场阿达玛变换光学成像概述</b>	(115)
9.1	光学近场显微技术的发展概况	(115)
9.2	扫描近场光学显微镜的基本原理	(119)
9.3	扫描近场光学显微镜的基本结构和关键技术	(122)
9.4	扫描近场光学显微镜的不同工作方式	(124)
9.5	近场光学显微镜的应用	(125)
9.6	无探针近场光学显微镜的基本结构	(127)
	本章小结	(132)
<b>第10章</b>	<b>用于近场光学成像研究的各种宏观理论</b>	(133)
10.1	宏观角谱理论	(133)
10.2	宏观散射理论	(136)
10.3	复合多极子方法	(137)
10.4	有限时域差分法	(139)
10.5	非探针近场光学显微镜中样品近场光分布特性	(142)
	本章小结	(146)
<b>第11章</b>	<b>微观传播子自治场理论对近场光学显微镜的研究</b>	(147)
11.1	亚波长球形介质粒子的偶极子模型	(147)

11.2	无限薄导体屏上亚波长小孔的偶极子模型	(149)
11.3	并矢传播子——自治场理论	(156)
11.3.1	自由空间传播子	(157)
11.3.2	半无限大空间传播子	(158)
	本章小结	(160)
<b>第 12 章</b>	<b>近场光学显微镜的一种新模型——准静态电磁场</b>	<b>(161)</b>
12.1	有限厚导体屏上纳米小孔近场光学特性的研究	(161)
12.1.1	导体屏上小圆孔内各次模的耦合系数	(162)
12.1.2	导体屏厚度对系统的传递系数的影响	(164)
12.2	准静态电磁场理论模型	(164)
12.3	近场显微镜中的偏振效应	(168)
12.3.1	偶极子小球辐射场的偏振效应	(169)
12.3.2	近场光学显微镜中的偏振效应	(169)
12.4	近场光学显微镜中的材料共振	(170)
12.4.1	尺寸效应对金属纳米粒子光学特性的影响	(171)
12.4.2	近场光学显微镜中的金属样品成像特征	(173)
12.5	近场光学显微镜中的结构共振	(175)
	本章小结	(177)
<b>第 13 章</b>	<b>亚波长小孔中的光</b>	<b>(179)</b>
13.1	亚波长小孔阵列	(179)
13.2	单个亚波长小孔	(181)
13.3	周期褶皱环绕的单个亚波长小孔	(183)
13.4	亚波长小孔阵列	(183)
13.4.1	规则周期亚波长小孔阵列	(183)
13.4.2	隐周期亚波长小孔阵列	(186)
13.5	亚波长小孔阵列奇异透光现象的微观机制	(187)
	本章小结	(193)
<b>第 14 章</b>	<b>非探针红外近场光学显微镜关键技术的研究</b>	<b>(194)</b>
14.1	中红外非探针近场光学显微镜码板材料的选取	(194)
14.2	编码板的设计	(196)
14.2.1	编码板基片的抛光和镀膜	(196)
14.2.2	掩膜板的设计	(199)
14.2.3	编码板的制作	(200)
14.3	微动工作台的研制	(201)
14.3.1	步进电动机驱动的粗扫描	(201)
14.3.2	压电陶瓷驱动器驱动的细扫描	(202)

本章小结.....	(205)
<b>第 15 章 非探针红外近场光学显微镜的成像测量</b> .....	(206)
15.1 探测器.....	(206)
15.2 测量系统的标定.....	(208)
15.3 编码测量实验.....	(208)
15.4 快速阿达玛解码算法.....	(209)
15.5 测量误差分析.....	(212)
本章小结.....	(212)
<b>本篇总结</b> .....	(213)
<b>第三篇 太赫兹波阿达玛变换成像</b>	
<b>第 16 章 太赫兹波</b> .....	(219)
16.1 太赫兹波的特征.....	(219)
16.2 太赫兹时域光谱技术 THz-TDS .....	(220)
16.3 逐点扫描式太赫兹时域光谱成像.....	(222)
16.4 太赫兹连续波探测.....	(223)
16.5 适于在太赫兹波段工作的材料.....	(224)
本章小结.....	(230)
<b>第 17 章 超分辨太赫兹成像与光谱方法</b> .....	(231)
17.1 概述.....	(231)
17.2 近场太赫兹成像.....	(232)
17.3 非探针超分辨太赫兹成像.....	(233)
17.4 超分辨率太赫兹光谱成像.....	(234)
本章小结.....	(235)
<b>第 18 章 阿达玛变换太赫兹波光学的特点</b> .....	(236)
18.1 阿达玛变换太赫兹波远场成像的特点.....	(236)
18.2 阿达玛变换太赫兹波近场成像的特点.....	(237)
18.2.1 太赫兹波近场成像机理.....	(237)
18.2.2 表面等离子极化激元的几个特征长度.....	(240)
18.2.3 关于金属介电常数的讨论.....	(241)
18.3 阿达玛变换太赫兹波光谱成像的特点.....	(243)
18.3.1 太赫兹波光谱成像原理.....	(243)
18.3.2 在太赫兹波段应用阿达玛变换方法.....	(244)
18.3.3 微纳结构的制作.....	(245)
本章小结.....	(253)
<b>第 19 章 阿达玛变换光学方法的联用</b> .....	(254)
19.1 阿达玛变换光学方法与其他分析方法的联用.....	(254)

---

19.1.1	阿达玛变换激光光镊-显微拉曼光谱术 .....	(254)
19.1.2	阿达玛变换光热偏转光谱术 .....	(257)
19.1.3	阿达玛变换光声光谱术 .....	(260)
19.1.4	阿达玛变换时间飞行质谱术 .....	(263)
19.2	高分辨局域电化学电流成像及其与阿达玛变换近场光学方法 相结合的探讨 .....	(264)
19.2.1	表面等离子激元共振显微成像术 .....	(264)
19.2.2	局域电化学电流显微术 .....	(270)
19.2.3	阿达玛变换超分辨电化学电流成像术探讨 .....	(277)
	本章小结 .....	(278)
	参考文献 .....	(279)

# 第一篇

## 远场阿达玛变换光学成像





# 第 1 章 绪 论

## 1.1 问题及其目的和意义

在现代科学仪器和分析方法中,成像、光谱仪器和光谱方法占有重要地位,它们不仅被广泛应用于天文、地理、物理、化学、生物、医学等基础研究领域,而且也是冶金、石油化工、材料、农业等物质生产领域不可缺少的检测、分析手段。近年来,它们在生物化学、医学研究、环境及安全监测、生态研究、空间探测研究等领域的应用也受到日益广泛的关注<sup>[1]</sup>。

光谱仪器的研究对象是光辐射,其中既包括不同物质直接发出的辐射,也包括光辐射与物质相互作用后显现出的经过变换的辐射,如反射、透射、散射、荧光等。所有这些辐射都是物质向外界发出的信息。通过对光辐射的产生条件、频率、强度变化和空间分布特征等进行检测和分析,可直接获取有关物质的成分、含量、结构、表面状态、变化情况、化学或生物反应过程等有用的信息。

光谱仪器和光谱方法得以广泛应用的原因主要有两个:①光谱仪器可应用在很宽的电磁波区域,即从波长 $\lambda=1\sim 10\text{ \AA}$ ( $1\text{ \AA}=10^{-10}\text{ m}$ )的软 X 射线到 $\lambda\leq 3\text{ mm}$ 的太赫兹波区域,这一区域常被称为光学波段<sup>[2]</sup>;②与其他分析方法(如色谱法、电化学法等)相比,光谱方法具有分析精度高、速度快、样品用量少、无损害、无污染等优点。

当今科学技术的进步使光谱技术与仪器得到了日臻完善的发展,但同时也向其提出了更高的要求。对弱辐射信号的检测已成为深化对自然认识的重要手段之一。如生物体的微观结构观察<sup>[3]</sup>、生化反应分析<sup>[4]</sup>、空间观测、生命科学研究<sup>[5]</sup>等,无疑是当今科学技术的前沿学科。面对弱辐射信号,现有的光谱仪器和光谱方法在许多应用中存在不足,可归结为以下三方面。

(1) 常规的扫描型光谱仪无法胜任弱辐射的分析,这是由于:①仪器的基本结构——狭缝加色散元件——极大地限制了辐射通量的有效利用,如图 1.1 所示,经入射和出射狭缝的两次衰减,最后到达探测器的任一单色辐射一般不足入射辐射能的 $1/10^4$ <sup>[6]</sup>;②从本质上讲,常规光谱仪始终没有摆脱单纯地接收、获取光谱信息的状态,对有用光谱信号、背景信号及干扰信号无法进行有效的区分,因而分辨能力差、信噪比低、选择性差。

(2) 现在的光谱方法多是将被测目标视为一个整体来测量其总的辐射光谱特

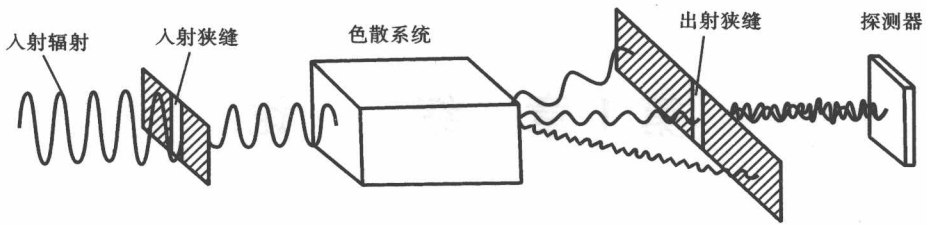


图 1.1 常规光谱仪示意图

征,这对于那些只关心被测样品光谱特性的应用场合较合适。然而,越来越多的研究领域要求同时获取目标辐射的光谱及其空间分布信息,如空间遥感<sup>[7]</sup>、光声光谱研究<sup>[8]</sup>、反恐安检、医学及生命科学研究等领域。显然,用通常的光谱方法来实现上述要求,是一个对目标进行逐“点”(小区域)检测的扫描过程,其缺点是:①单点的辐射相对很弱,故检测信噪比低,甚至无法检测;②各点检测之间存在一定的时差。

尽管基于阵列式探测器的多通道光谱技术<sup>[9,10]</sup>为解决上述问题提供了有效途径,但该技术仍有以下不足:①阵列式器件会存在不均匀性,对被测辐射强度的空间分布的分辨能力差;②工作波段受限于探测器材料;③高质量的阵列式探测器价格昂贵,尤其在红外波段<sup>[11]</sup>。

(3) 单就弱辐射源的二维成像测量而言,在可见和近红外波段有感光乳胶和阵列式探测器可供选用。超出以上波段,例如在红外和太赫兹波段既没有感光乳胶,也无阵列式探测器,通常只有单元探测器,而在 X 射线波段,虽然有感光乳胶和接收器阵列,但也存在不足。在这种情况下,要获取辐射的二维分布,同样需要单点扫描测量,因信号过弱和光子起伏噪声的影响,将使信噪比降低<sup>[12]</sup>。

综合上述分析,现代科技发展对成像与光谱仪器的要求必然是:①高辐射通量,高信噪比;②可同时获取辐射的光谱和空间分布信息,即具有成像光谱测量能力;③工作波段宽。因此,研究同时具有上述特点的光谱仪器有着重大的理论意义和应用价值<sup>[13~15]</sup>。

## 1.2 多通道成像光谱技术与仪器概述

### 1.2.1 多通道成像光谱技术

多通道光谱技术是一种并行检测技术,其根本特征是能同时测量多个(成百上千)光谱元。多通道光谱仪器与单通道光谱仪器(常规光谱仪器)相比具有明显的优点,即具有多通道<sup>[16]</sup>。这一优点对于弱辐射检测具有特殊意义,具体表现在如下方面。

(1) 单通道仪器对光谱的测量是逐一对谱元进行扫描的顺序型检测,测得光谱的可靠性依赖于辐射信号的稳定性。辐射强度的浮动将带来信号浮动和杂散光噪声的浮动,尽管可以采取斩波方法消除,但实践起来十分复杂。而多通道仪器能对多谱元同时进行测量,可大幅度消除上述噪声源。

(2) 弱辐射检测的关键是提高灵敏度和降低噪声。增加探测器的积分时间是改善信噪比的有效手段,单通道与多通道仪器均可采用。但单通道仪器对多个谱元的顺序积分过程耗时长,难以在测量过程中保持辐射源或其他实验条件稳定不变。而多通道仪器只需单通道仪器对单个谱元的积分时间,即可获得同样信噪比的测量结果。若使测量时间与单通道仪器所用的时间相同,则多通道仪器对每一谱元的积分时间将是单通道仪器的  $N$  倍( $N$  为通道数),其信噪比将提高  $\sqrt{N}$  倍。

## 1.2.2 多通道光谱仪器

按是否具有多通道探测功能和实现多通道的具体方式,光谱仪器可按图 1.2 所示分类。

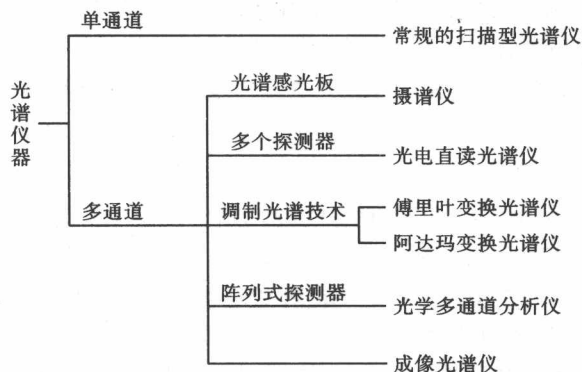


图 1.2 光谱仪器分类

以下对多通道光谱仪器给予简要介绍。

### 1. 摄谱仪

摄谱仪是最早出现的具有多谱元同时记录功能的光谱仪器,它以光谱感光板作为接收器<sup>[17]</sup>。摄谱分析方法具有灵敏度高、准确性好、可进行多元素瞬变光谱分析、成本低等优点。其缺点是:①仪器的应用受到光谱感光板的光谱灵敏范围和感光乳胶的光度动态范围的限制,仅适用于紫外到近红外波段(一般为 200~1000 nm)的较强辐射的光谱分析;②感光板的后处理耗时长,不利于实现自动化、实时信息处理。

### 2. 光电直读光谱仪

它利用光电检测元件取代光谱感光板,直接在光谱面上快速测定谱线。与摄谱