



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109211875 A

(43)申请公布日 2019.01.15

(21)申请号 201811343517.5

(22)申请日 2018.11.13

(71)申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72)发明人 赵维谦 吴寒旭 邱丽荣 王允

(74)专利代理机构 北京理工正阳知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11639

代理人 郭晓楠

(51) Int. Cl.

G01N 21/65(2006.01)

G01N 21/47(2006.01)

G01N 21/01(2006.01)

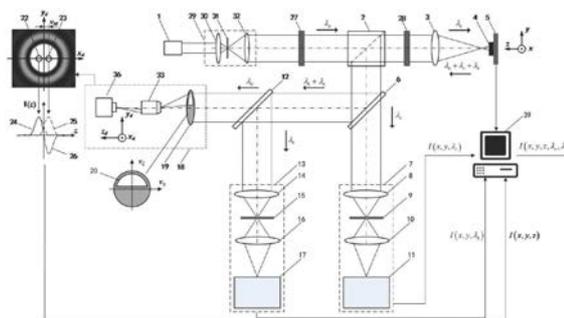
权利要求书2页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法及装置

(57)摘要

本发明涉及后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法及装置,属于显微光谱成像技术领域。通过共焦拉曼光谱探测系统中遗弃的瑞利散射光构建分光瞳差动共焦显微成像系统,实现样品几何形貌的高空间分辨探测;通过探测共焦拉曼光谱探测系统中遗弃的布里渊散射光获取被测样品的多种基本性质,从而对材料的弹性、密度、弹性等参数进行测量;利用分光瞳激光差动共焦显微成像系统获得的焦点位置来精确获取样品焦点处的光谱信息,进而实现“图谱合一”的分光瞳差动共焦布里渊-拉曼光谱高空间分辨成像与探测;通过将共焦拉曼光谱探测技术与共焦布里渊光谱探测技术相融合,实现样品形貌性能多参数综合测量。



1. 后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤一、在收集物镜(19)光瞳面上放置收集光瞳(20);光源系统(1)出射的激发光束经过分光棱镜(2)与测量物镜(3)后,会聚在被测样品(4)上,激发出载有被测样品(4)微区特性参数信息的布里渊散射光与拉曼散射光,同时反射出瑞利散射光;拉曼散射光、布里渊散射光与瑞利散射光经过测量物镜(3)收集,经过分光棱镜(2)反射后,被二向色分光系统(6)分为两束;其中经过二向色分光系统(6)反射的瑞利散射光与布里渊散射光进入分光系统(12),经过分光系统(12)反射的瑞利散射光与布里渊散射光进入布里渊光谱探测系统(13)进行布里渊光谱探测;经过分光系统(12)透射的瑞利散射光与布里渊散射光进入后置分光瞳激光差动共焦探测系统(18),经过收集物镜(19)以及收集光瞳(20)后,被光强采集系统(21)进行焦斑分割探测,实现对被测样品(4)微区几何位置的探测;

步骤一所述对被测样品(4)微区几何位置的探测的方法为:

对光强采集系统(21)获取的聚焦光斑进行分割处理,分别得到探测区域A(22)与探测区域B(23)对应的光强信号,对两个信号进行差动相减处理,得到分光瞳差动共焦曲线(26);利用分光瞳差动共焦曲线(26)的“过零点”与测量物镜(3)焦点精确对应特性,通过“过零点”触发来精确捕获激发光斑焦点位置,进而实现高空间分辨的几何探测和空间定位;

步骤二、与此同时,经过二向色分光系统(6)透射的拉曼散射光的光束进入到拉曼光谱探测系统(7)中;利用后置分光瞳激光差动共焦探测系统(18)得到的分光瞳差动共焦曲线(26)的“过零点”与测量物镜(3)焦点精确对应这一特性,通过“过零点”的位置精确捕获聚焦光斑处的光谱信息,进而实现对被测样品(4)微区高空间的精确光谱探测;

步骤二所述对被测样品(4)微区高空间的光谱探测的方法为:通过对样品进行轴向扫描获取后置分光瞳激光差动共焦探测系统的差动共焦曲线(26),通过曲线的“过零点”对被测样品进行实时跟踪定焦;通过三维扫描系统(5)控制被测样品(4)的空间位置,确保在整个测量过程中被测样品(4)始终处于焦点处,以保证拉曼光谱探测系统(7)采集到的信息为焦点位置处的光谱信息,进而抑制长时间光谱测量所导致的系统漂移以及外界环境的影响,提高系统的测量精度以及空间分辨力;

当后置分光瞳激光差动共焦探测系统(18)对接收到的瑞利光形成的光斑进行处理时,能够对被测样品(4)进行高空间分辨三维层析探测;

当拉曼光谱探测系统(7)对接收到的拉曼散射光进行处理时,能够对被测样品(4)进行拉曼光谱探测;

当布里渊光谱探测系统(13)对接收到的布里渊散射光进行处理时,能够对被测样品(4)进行布里渊光谱探测;

当同时对后置分光瞳激光差动共焦探测系统(18)接收到的瑞利光形成的光斑、布里渊光谱探测系统(13)接收到的拉曼散射光以及拉曼光谱探测系统(7)接收到的布里渊散射光进行处理时,能够进行高空间分辨微区图谱层析成像,进而对被测样品(4)进行“图谱合一”的后置分光瞳激光差动共焦布里渊拉曼光谱高空间分辨成像与探测。

2. 根据权利要求1所述的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法及装置,其特征在于:所述收集光瞳(20)的形状包括D形或圆形。

3. 根据权利要求1所述的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法,其特

征在于:所述激发光束包括偏振光束和结构光束,由此提高系统光谱信号信噪比和系统横向分辨力。

4. 后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置,其特征在于:包括产生激发光束的光源系统(1)、分光棱镜(2)、测量物镜(3)、被测样品(4)、三维扫描系统(5)、二向色分光系统(6)、分光系统(12)、后置分光瞳激光差动共焦探测系统(18)、拉曼光谱探测系统(7)、布里渊光谱探测系统(13)以及计算机(39);

所述拉曼光谱探测系统(7)包括第一会聚镜(8)、第一针孔(9)、第二会聚镜(10)和拉曼光谱探测单元(11);

所述布里渊光谱探测系统(13)包括第三会聚镜(14)、第二针孔(15)、第四会聚镜(16)和布里渊光谱探测单元(17);

被测样品(4)置于三维扫描系统(5)上;光源系统(1)出射的激发光束经过通过分光棱镜(2)与测量物镜(3)后,会聚在被测样品(4)上,激发出载有样品微区特性参数信息的拉曼散射光、布里渊散射光,同时反射出瑞利散射光;拉曼散射光、布里渊散射光与瑞利散射光经过测量物镜收集,经过分光棱镜(2)反射后,被二向色分光系统(6)分为两束,其中经过二向色分光系统(6)反射的瑞利散射光与布里渊散射光进入分光系统(12),经过分光系统(12)反射的瑞利散射光与布里渊散射光进入布里渊光谱探测系统(13)进行布里渊光谱探测;经过分光系统(12)透射的瑞利散射光与布里渊散射光进入后置分光瞳激光差动共焦探测系统(18);经过二向色分光系统(6)透射的拉曼散射光的光束进入到拉曼光谱探测系统(7)中。

5. 根据权利要求4所述的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置,其特征在于:还包括径向偏振转换系统(27)和光瞳滤波器(28);径向偏振转换系统(27)置于光源系统(1)和分光棱镜(2)之间;所述光瞳滤波器(28)置于分光棱镜(2)和测量物镜(3)之间。

6. 根据权利要求4所述的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置,其特征在于:还包括光束调制系统(29);所述光束调制系统(29)置于光源系统(1)和分光棱镜(2)之间;所述光束调制系统(29)由第五会聚镜(30)、第三针孔(31)以及第六会聚镜(32)组成。

7. 根据权利要求4所述的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置,其特征在于:所述后置分光瞳激光差动共焦探测系统(18)由收集物镜(19)、收集光瞳(20)和光强采集系统(21)组成;或者由收集物镜(19)、收集光瞳(20)和第四针孔(34)与光强点探测器(35)组成;或者由集物镜(19)、收集光瞳(20)和CCD探测器(36)组成;或者由集物镜(19)、收集光瞳(20)、第一传导光纤(37)和第二传导光纤(38)组成。

8. 根据权利要求4所述的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置,其特征在于:所述后置分光瞳激光差动共焦探测系统(18)还包括中继放大镜(33),中继放大镜(33)置于收集物镜(19)之后焦点位置。

## 后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法及装置,属于显微光谱成像技术领域。将后置分光瞳激光差动共焦显微技术、拉曼光谱探测技术以及布里渊光谱探测技术有机结合,涉及一种“图谱合一”的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱测试方法及装置,可用于对各类样品微区机械形态性能多参数进行高空间分辨探测等。

### 背景技术

[0002] 光子与物质中的声子相互作用时会发生散射效应,其中频率不发生变化的散射称为弹性散射(瑞利散射),频率发生变化的散射称为非弹性散射(拉曼散射与布里渊散射),其中拉曼散射与布里渊散射分别是光子与光学声子相互作用以及光子与声学声子相互作用的结果。

[0003] 瑞利散射中光子与声子交换能量较小,频移变化小于 $10^{-5}\text{cm}^{-1}$ ,布里渊散射中光子与声学声子交换能量较小,布里渊散射频移变化在 $0.01\sim 2\text{cm}^{-1}$ 之间。而拉曼散射中光子与光学声子交换的能量大,拉曼散射频移在 $10\sim 5000\text{cm}^{-1}$ 之间。

[0004] 拉曼(Raman)光谱是被测样品中的分子内部振动所引起的非弹性散射光谱,由于不同的样品对应不同的拉曼特征谱峰,因此拉曼光谱又称为“分子指纹谱”。通过测量拉曼光谱,对光谱的频移、强度、谱宽以及比值进行解耦,进而获得样品的组成成分、应力、应变、温度以及结构缺陷等信息。

[0005] 布里渊光谱是被测样品中的分子热振动所引起的非弹性散射光谱,通过对布里渊光谱进行测量,可对凝聚态物质中的声子、自旋波等多种元激发进行测量,进而分析样品的粘弹性、相变以及磁性等多种基本性质,进而对压电、磁弹、光弹等各种交叉效应进行监测。近年来,布里渊散射研究也为集成铁电学和自旋电子学的诞生和发展做出了重要贡献。

[0006] 共焦光谱探测技术具有测量精度高、层析能力强、光谱信息丰富等特点,在对样品进行性能形态多参数测量时,由于散射光谱技术具有各自的优点,通过合理设计以及有机结合可实现优势互补。利用拉曼散射与布里渊散射是实现微细结构材料多性能参数测量的关键技术。

[0007] 传统的共焦拉曼光谱系统的探测原理如图1所示,光源系统出射激光透过分光棱镜、四分之一波片以及测量物镜后,聚焦在样品表面,激发出载有样品微区光谱特性的拉曼散射光,通过三维扫描系统移动被测样品,使被测样品上不同被测区域所对应的拉曼散射光通过物镜收集,经过四分之一波片以及分光棱镜的反射,第一会聚镜将反射的拉曼散射光会聚到第一针孔处,利用光谱探测系统测得载有样品微区特性参数信息的拉曼光谱。

[0008] 传统的共焦拉曼光谱系统为提高系统的信噪比,获取丰富的微区拉曼光谱信息,通常需要对被测样品进行长时间的拉曼光谱成像。但仪器在长时间的成像过程中容易受到环境温度、空气扰动、系统振动等多方面因素的影响,易使系统产生漂移、离焦等现象。由于现有的共焦拉曼光谱探测系统不存在焦点跟踪的能力,因此在成像过程中难以保证激发光

斑与物镜焦点位置重合,导致激发光斑大于理想的聚焦光斑,其结果降低了光谱探测系统的空间分辨力,因此限制了共焦拉曼光谱仪的探测能力。

[0009] 由于自发拉曼散射光十分微弱,只有瑞利散射光的 $10^{-3}\sim 10^{-6}$ 倍,因此为了减少拉曼的能量损失,提高拉曼光谱的探测强度,系统中通常采用较大尺寸的针孔,约在 $150\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ 之间。由于系统采用共焦焦点位置进行轴向定位,针孔的尺寸过大会导致轴向定焦能力的降低,进而降低系统的空间分辨力。随着现代科技的发展,人们对于共焦拉曼光谱技术的空间分辨力以及光谱探测能力提出了更高的要求。在共焦拉曼光谱系统中,当聚焦光斑尺寸最小时,拉曼光谱的激发强度达到最大,光谱探测能力与空间分辨力达到最佳,因此精确对焦对于共焦拉曼光谱系统具有重要意义。

[0010] 此外,传统的共焦拉曼光谱系统只利用了微弱的拉曼散射光,而遗弃了强度远远高于拉曼散射光的瑞利散射光,因此只能进行光谱探测,无法获取更多的样品信息,测量方式单一,限制了其应用领域。而且直接利用拉曼散射光进行轴向定焦以及光谱成像,存在测量时间长、系统灵敏度低等缺点。

[0011] 为克服传统的共焦拉曼系统的上述不足,北京理工大学赵维谦等人曾提出了一种具有很强微区光谱探测能力的分光瞳差动共焦布里渊-拉曼光谱测试方法,通过对探测焦斑进行分割处理,得到两个探测区域的光强信号,对其进行相减处理实现差动探测,进而实现双极性绝对零点跟踪测量。分光瞳差动共焦布里渊-拉曼光谱测试技术在专利ZL 201410086360(发明人:赵维谦等)中,以题为“分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱测量方法及装置”已公开,其原理如图2所示,该方法旨在利用分光瞳差动共焦显微成像装置的“过零点”与其焦点精确对应这一特性,实现对样品微区几何位置及光谱信息的高空间分辨探测,并同时达到分辨力与测量范围的有效兼顾。但是该测试方法由于未能充分利用测量物镜的有效数值孔径,影响了共焦光谱系统的空间分辨力;此外,该测试系统受到离轴位置要求严格,装调困难等因素的限制。

## 发明内容

[0012] 本发明的目的是为解决现有技术受外界因素限制较大,且空间分辨率低的问题,提出一种后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法及装置。通过共焦拉曼光谱探测系统中遗弃的瑞利散射光构建分光瞳差动共焦显微成像系统,实现样品几何形貌的高空间分辨探测;通过探测共焦拉曼光谱探测系统中遗弃的布里渊散射光获取被测样品的多种基本性质,从而对材料的弹性、密度、弹性等参数进行测量;利用后置分光瞳激光差动共焦显微成像系统获得的焦点位置来精确获取样品焦点处的光谱信息,进而实现“图谱合一”的分光瞳差动共焦布里渊-拉曼光谱高空间分辨成像与探测;通过将共焦拉曼光谱探测技术与共焦布里渊光谱探测技术相融合,实现样品形貌性能多参数综合测量。

[0013] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的。

[0014] 后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法,包括以下步骤:

[0015] 首先在收集物镜光瞳面上放置收集光瞳,光源系统出射的激发光束经过分光棱镜与测量物镜后,会聚在被测样品上,激发出载有样品微区特性参数信息的拉曼散射光与布里渊散射光,同时反射出瑞利散射光;拉曼散射光、布里渊散射光与瑞利散射光经过测量物镜收集,经过分光棱镜反射后,被二向色分光系统分为两束,其中经过二向色分光系统反射

的瑞利散射光与布里渊散射光进入分光系统分光,经分光系统透射的瑞利散射光与布里渊散射光进入后置分光瞳激光差动共焦探测系统,经过收集物镜以及收集光瞳后,被光强采集系统进行焦斑分割探测,实现对被测样品微区几何位置的探测。具体过程为:对光强采集系统获取的聚焦光斑进行分割处理,分别得到探测区域A与探测区域B对应的光强信号,对A、B两个探测区域的信号进行差动相减处理,得到分光瞳差动共焦曲线 $I(z)$ ,其中 $z$ 为轴向物理坐标。利用分光瞳差动共焦曲线的“过零点”与测量物镜焦点精确对应特性,通过“过零点”触发来精确捕获激发光斑焦点位置,进而实现高空间分辨的几何探测和空间定位。经过分光系统反射的瑞利散射光与布里渊散射光进入布里渊光谱探测系统中,实现布里渊光谱探测。

[0016] 与此同时,经过二向色分光系统透射的拉曼散射光的光束进入到拉曼光谱探测系统中。后置分光瞳激光差动共焦探测系统通过“过零点”的位置精确捕获聚焦光斑处的光谱信息,进而实现对样品微区高空间的光谱探测。具体过程为:通过对样品进行轴向扫描获取后置分光瞳激光差动共焦探测系统的轴向响应曲线,通过曲线的“过零点”对被测样品进行实时跟踪定焦。通过三维扫描系统控制被测样品的空间位置,以保证在整个测量过程中始终获取焦点位置处的拉曼光谱信息,进而抑制长时间光谱测量所导致的系统漂移以及外界环境的影响,提高系统的测量精度以及空间分辨力。

[0017] 当只对接收瑞利光的后置分光瞳激光差动共焦探测系统获取的激光光斑进行处理时,能够进行高空间分辨三维层析探测;

[0018] 当只对接收拉曼散射光的拉曼光谱探测系统获取的拉曼光谱信号进行处理时,能够对被测样品进行拉曼光谱探测;

[0019] 当只对接收布里渊散射光的布里渊光谱探测系统获取的布里渊光谱信号进行处理时,能够对被测样品进行布里渊光谱探测;

[0020] 当同时对接收瑞利光的后置分光瞳激光差动共焦探测系统获取的光强信号、接收布里渊散射光的布里渊光谱探测系统获取的布里渊光谱信号以及接收拉曼散射光的拉曼光谱探测系统获取的拉曼光谱信号进行处理时,能够进行高空间分辨微区图谱层析成像,实现对被测样品进行“图谱合一”的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱高空间分辨成像与探测。

[0021] 特别的,在本发明方法中,收集光瞳可以是D形、圆形或者其他形状。

[0022] 在本发明方法中,激发光束包括线偏光、圆偏光、径向偏振光等偏振光束和由光瞳滤波等技术生成的结构光束,由此提高系统光谱信号信噪比和系统横向分辨力。

[0023] 在本发明方法中,仅通过计算机系统软件处理即可实现对不同NA的测量物镜的匹配,无需对系统进行任何硬件装调。

[0024] 本发明提供了一种后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置,包括产生激发光束的光源系统、测量物镜、三维扫描系统、二向色分光系统、分光系统、拉曼光谱探测系统、布里渊光谱探测系统、后置分光瞳激光差动共焦测量系统、计算机。

[0025] 其中,收集光瞳放置在收集物镜的光瞳面上,被测样品固定在三维扫描系统的载物台上。二向色分光系统放置在分光棱镜的光束反射方向上,拉曼光谱探测系统放置在二向色分光系统的透射方向上,分光系统放置在二向色分光系统的反射方向上,后置分光瞳激光差动共焦测量系统放置在分光系统的透射方向上,布里渊光谱探测系统放置在分光系

统的反射方向上,计算机用于对三维扫描系统、布里渊光谱探测系统、拉曼光谱探测系统以及后置分光瞳激光差动共焦测量系统进行数据处理以及协调控制。

[0026] 在本发明装置中,光强采集系统可以采用针孔与光强点探测器结合的方法,实现对艾里斑的分割探测。

[0027] 在本发明装置中,光强采集系统可以采用CCD探测器,通过在CCD探测面设置探测区域A与探测区域B的位置及大小,实现对艾里斑的分割探测。

[0028] 在本发明装置中,光强采集系统可以采用传导光纤,通过在收集物镜的焦面上,关于光轴对称放置第一传导光纤与第二传导光纤,实现对艾里斑的分割探测。

[0029] 在本发明装置中,可通过增加中继放大镜,放大光强采集系统探测到的艾利斑,以提高后置分光瞳激光差动共焦测量系统的采集精度。

[0030] 有益效果

[0031] 1、本发明融合了后置分光瞳激光差动共焦显微技术、布里渊光谱探测技术和拉曼光谱探测技术,通过后置分光瞳激光差动共焦轴向响应曲线的“过零点”与高精度测量物镜的焦点精确对应这一特性,对被测样品实现精确定焦,同时获取样品的几何位置、布里渊光谱信号与拉曼光谱信号,在大幅提高现有共焦光谱探测系统的微区光谱探测能力的同时,也大大简化了系统的光路结构,这是区别于现有的光谱探测技术的创新点之一;

[0032] 2、本发明通过在收集光路中加入后置分光瞳激光差动共焦测量系统,在传统共焦拉曼系统的基础上实现后置分光瞳激光差动共焦显微成像,进一步提高后置分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱技术的空间分辨力以及光谱信号强度,这是区别于现有的光谱探测技术的创新点之二;

[0033] 3、本发明采用分割焦斑的方法来获取信号,通过设置光强采集系统中光斑焦面上微小区域的尺寸以匹配不同的样品反射率,进而扩展其应用领域;通过计算机系统软件处理可以实现对不同NA值的测量物镜的匹配,而无需重新对系统进行任何硬件装调,进而提高仪器的通用性。这是区别于现有的光谱探测技术的创新点之三;

[0034] 4、本发明将后置分光瞳激光差动共焦显微系统、布里渊光谱探测系统以及拉曼光谱探测系统在结构上和功能上结合,可实现样品微区后置分光瞳激光差动共焦显微探测、激光共焦布里渊光谱探测、激光共焦拉曼光谱探测、后置分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱探测多种模式切换,实现高空间分辨形态性能多参数测量,这是区别于现有光谱探测技术的创新点之四。

## 附图说明

[0035] 图1为传统共焦拉曼光谱成像方法示意图;

[0036] 图2为已有的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法示意图;

[0037] 图3为本发明所述的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法示意图,即摘要附图;

[0038] 图4为圆形后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法示意图;

[0039] 图5为结合光瞳滤波器的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法示意图;

[0040] 图6为具有光束调制系统的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置

示意图；

[0041] 图7为具有探测焦斑放大系统的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置示意图；

[0042] 图8为采用针孔与光强点探测器的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置示意图；

[0043] 图9为采用CCD探测器的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置示意图；

[0044] 图10为采用光纤进行探测的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置示意图；

[0045] 图11为高空间分辨后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试方法及装置示意图,即实施例用图；

[0046] 图12为分光瞳差动共焦仿真曲线；

[0047] 图13为分光瞳差动共焦实测曲线。

[0048] 其中,1-光源系统、2-分光棱镜、3-测量物镜、4-被测样品、5-三维扫描系统、6-二向色分光系统、7-拉曼光谱探测系统、8-第一会聚镜、9-第一针孔、10-第二会聚镜、11-拉曼光谱探测单元、12-分光系统、13-布里渊光谱探测系统、14-第三会聚镜、15-第二针孔、16-第四会聚镜、17-布里渊光谱探测单元、18-后置分光瞳激光差动共焦探测系统、19-收集物镜、20-收集光瞳、21-光强采集系统、22-探测区域A、23-探测区域B、24-分光瞳前焦曲线、25-分光瞳后焦曲线、26-分光瞳差动共焦曲线、27-径向偏振转换系统、28-光瞳滤波器、29-光束调制系统、30-第五会聚镜、31-第三针孔、32-第六会聚镜、33-中继放大镜、34-第四针孔、35-光强点探测器、36-CCD探测器、37-第一传导光纤、38-第二传导光纤、39-计算机、40-四分之一波片、41-会聚物镜、42-照明光瞳、43-探测光瞳、44-第七会聚镜、45-光强探测系统、46-光斑探测区域A、47-光斑探测区域B、48-第一离轴共焦轴向曲线、49-第二离轴共焦轴向曲线、50-差动共焦轴向特性响应曲线、51-分光瞳前焦实测曲线、52-分光瞳后焦实测曲线、53-分光瞳差动共焦实测曲线。

## 具体实施方式

[0049] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步详细说明。

[0050] 实施例1

[0051] 如图3所示,在收集物镜19光瞳面上放置收集光瞳20。光源系统1出射的激发光束经过通过分光棱镜2与测量物镜3后,会聚在被测样品4上,激发出载有样品微区特性参数信息的拉曼散射光与布里渊散射光,同时反射出瑞利散射光。拉曼散射光、布里渊与瑞利散射光经过测量物镜收集,经过分光棱镜2反射后,被二向色分光系统6分为两束,其中经过二向色分光系统6反射的瑞利散射光与布里渊散射光进入分光系统12,经过分光系统12反射的瑞利散射光与布里渊散射光进入布里渊光谱探测系统13,经过分光系统12透射的瑞利散射光与布里渊散射光进入后置分光瞳激光差动共焦探测系统18,经过收集物镜19以及收集光瞳20后,被光强采集系统21进行焦斑分割探测,实现对被测样品微区几何位置的探测。经过二向色分光系统6透射的拉曼散射光的光束进入到拉曼光谱探测系统7中,利用后置分光瞳激光差动共焦探测系统18得到的分光瞳差动共焦曲线26的“过零点”与测量物镜(3)焦点精

确对应这一特性,通过“过零点”的位置精确捕获聚焦光斑处的光谱信息,进而实现对样品微区高空间的光谱探测。

[0052] 特别的,可以将收集光瞳20替换其他形状,如圆形,即构成圆形后置分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱测试方法,如图4所示。

[0053] 特别的,通过添加径向偏振转换系统27与光瞳滤波器28,来进一步提高光谱探测的空间分辨力,即构成添加光瞳滤波器的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱测试方法,如图5所示。

[0054] 特别的,通过在光源系统1与分光棱镜2之间添加光束调制系统29,进而构成具有光束调制系统的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱测试装置。如图6所示,光束调制系统29包括沿光路依次放置的第五会聚镜30、第三针孔31、第六会聚镜32。

[0055] 特别的,在后置分光瞳激光差动共焦探测系统18中增加中继放大镜33,以提高后置分光瞳激光差动共焦探测系统的采集精度,如图7所示。

[0056] 特别的,采用针孔34与光强点探测器35结合的方法,实现对艾里斑的分割探测,如图8所示。

[0057] 特别的,光强采集系统21可以采用CCD探测器36,通过改变探测焦面上所设置的微小区域的参数以匹配不同的样品的反射率,实现对艾里斑的分割探测,从而可以扩展其应用领域,如图9所示。

[0058] 特别的,光强采集系统21可以采用传导光纤,通过在收集物镜19的焦面处,关于光轴对称放置第一传导光纤37和第二传导光纤38实现对艾里斑的分割探测,如图10所示。

[0059] 实施例2

[0060] 在本实施例中,光源系统1采用532nm连续激光器,二向色分光系统6采用Notch Filter,拉曼光谱探测单元11采用拉曼光谱仪,布里渊光谱探测单元17采用布里渊光谱仪。

[0061] 如图11所示,后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱探测过程如下所示:

[0062] 首先,由激光器构成的光源系统1出射的激光经过第五会聚镜30会聚进入第三针孔31后,经过第六会聚镜32准直扩束形成平行的激发光束。激发光束经过径向偏振转换系统27、分光棱镜2以及光瞳滤波器28后,被测量物镜3会聚在被测样品4上,激发出载有被测样品4微区特性参数的拉曼散射光与布里渊散射光。

[0063] 然后通过计算机39控制三维扫描系统5移动被测样品4,使被测样品4上不同区域的拉曼散射光、布里渊散射光以及对应该区域的瑞利光被测量物镜3收集,经过光瞳滤波器28以及分光棱镜2反射后,Notch Filter6将瑞利光、布里渊散射光与拉曼散射光进行无损分离。

[0064] 其中经过Notch Filter6反射的瑞利光与布里渊散射光进入分光系统12中,经过分光系统12反射的瑞利光与布里渊散射光经过第三会聚镜14、第二针孔15、第四会聚镜16后被布里渊光谱仪17接收,测得载有被测样品4微区光谱特性的布里渊散射光谱。

[0065] 经过分光系统12透射的瑞利光与布里渊散射光进入后置分光瞳激光差动共焦探测系统18中,经过收集物镜19以及收集光瞳20后进入中继放大镜33,被放大的光斑被CCD探测器36接收到,

[0066] 通过在探测焦斑中的 $x_d$ 轴上关于 $y_d$ 轴对称设置两个微小探测区域A22与探测区域B23,其相对于 $y_d$ 轴均偏离 $v_M$ ,两个探测区域的光强响应分别为 $I_A(u, -v_M)$ 与 $I_B(u, +v_M)$ ,计算

机39对得到的光强信号进行差动相减,得到后置分光瞳激光差动共焦曲线26:

$$[0067] \quad I(u, v_M) = I_A(u, -v_M) - I_B(u, +v_M)$$

[0068] 其中,  $I(u, v_M)$  为后置分光瞳激光差动共焦曲线,  $u$  为轴向归一化坐标,  $v_M$  为针孔横向归一化偏移量。结合通过计算机39获取的三维扫描系统5的位置信息,得到后置分光瞳激光差动共焦探测系统的差动共焦曲线26及其“过零点”的位置;分光瞳差动共焦曲线26的“过零点”与激发光束的聚焦光斑精确对应,因此通过差动共焦曲线26的“过零点”可得到被测样品4的高度信息,进而重构被测样品4的三维形貌。图13为分光瞳差动共焦实测曲线图,其中51为分光瞳前焦实测曲线、52为分光瞳后焦实测曲线、53为分光瞳差动共焦实测曲线。

[0069] 经过Notch Filter6透射的拉曼散射光经过第一会聚镜8、第一针孔9以及第二会聚镜10后被拉曼光谱仪11接收,测得载有被测样品4微区光谱特性的拉曼散射光谱。

[0070] 只对接收瑞利光的后置分光瞳激光差动共焦探测系统18获取的激光光斑进行处理时,能够对被测样品4进行高空间分辨三维层析探测;当只对接收拉曼散射光的拉曼光谱仪11获取的拉曼光谱信号进行处理时,能够对被测样品4进行拉曼光谱探测;当只对接收布里渊散射光的布里渊光谱仪17获取的布里渊光谱信号进行处理时,能够对被测样品4进行布里渊光谱探测;同时对接收瑞利光的后置分光瞳激光差动共焦探测系统8获取的光强信号、接收拉曼散射光的拉曼光谱仪11获取的拉曼光谱信号以及接收布里渊散射光的布里渊光谱仪17获取的布里渊光谱信号进行处理时,能够对被测样品4进行高空间分辨微区图谱层析成像,进而对被测样品进行“图谱合一”的后置分光瞳激光差动共焦布里渊-拉曼光谱高空间分辨成像与探测。

[0071] 如图11所示,后置分光瞳激光差动共焦布里渊-Raman光谱测试装置包括产生激发光束的光源系统1、光束调制系统29、径向偏振转换系统27、分光棱镜2、光瞳滤波器28、测量物镜3、被测样品4、三维扫描系统5、Notch Filter6、分光系统12、后置分光瞳激光差动共焦探测系统18、拉曼光谱探测系统7以及布里渊光谱探测系统13。

[0072] 沿光源系统1的激光出射方向,依次放置第五会聚镜30、第三针孔31、第六会聚镜32、径向偏振转换系统27、分光棱镜2、光瞳滤波器28、测量物镜3、被测样品4以及三维扫描系统5,在分光棱镜2反射方向依次放置Notch Filter6、第一会聚镜8、第一针孔9、第二会聚镜10,拉曼光谱仪11,在Notch Filter6反射方向放置分光系统12、在分光系统12反射方向依次放置第三会聚镜14、第二针孔15、第四会聚镜16、布里渊光谱仪17,在分光系统12透射方向依次放置收集物镜19、收集光瞳20、中继放大镜33、CCD探测器36,其中收集光瞳20的光轴与分光系统12反射光束的光轴重合;在整个系统中,连续激光器1、三维扫描平移台5、拉曼光谱仪11、布里渊光谱仪17以及CCD探测器36均受计算机39控制,系统得到的三维位置信息和光谱信息也由计算机39进行融合处理。

[0073] 以上结合附图对本发明的具体实施方式作了说明,但这些说明不能被理解为限制了本发明的范围,本发明的保护范围由随附的权利要求书限定,任何在本发明权利要求基础上进行的改动都是本发明的保护范围。

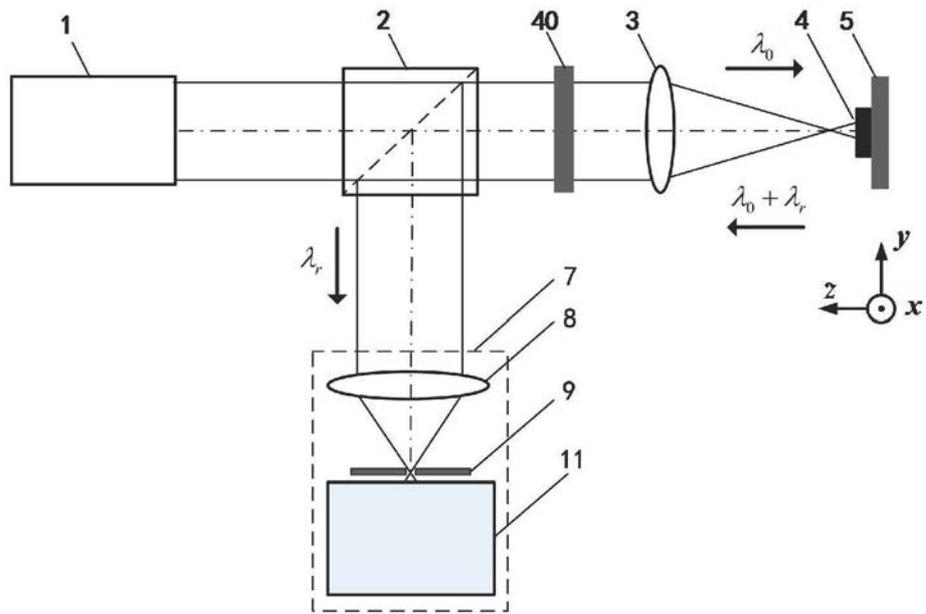


图1

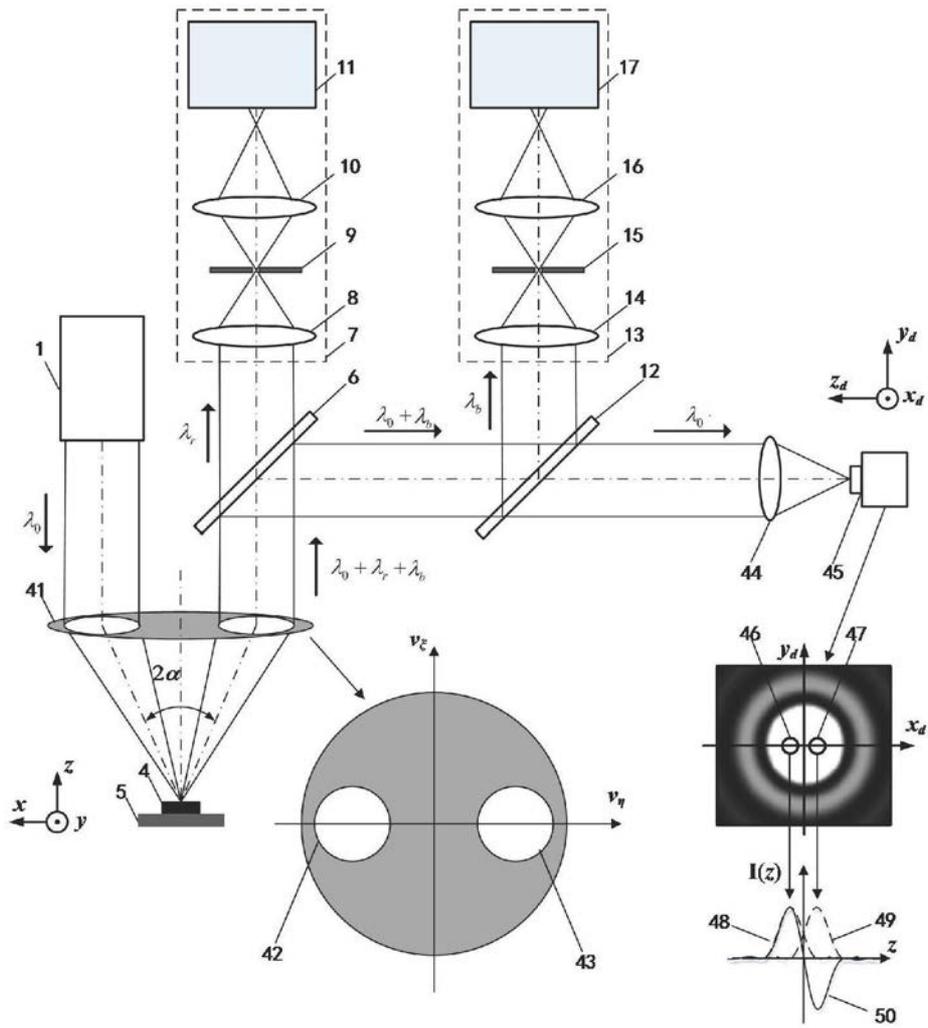


图2

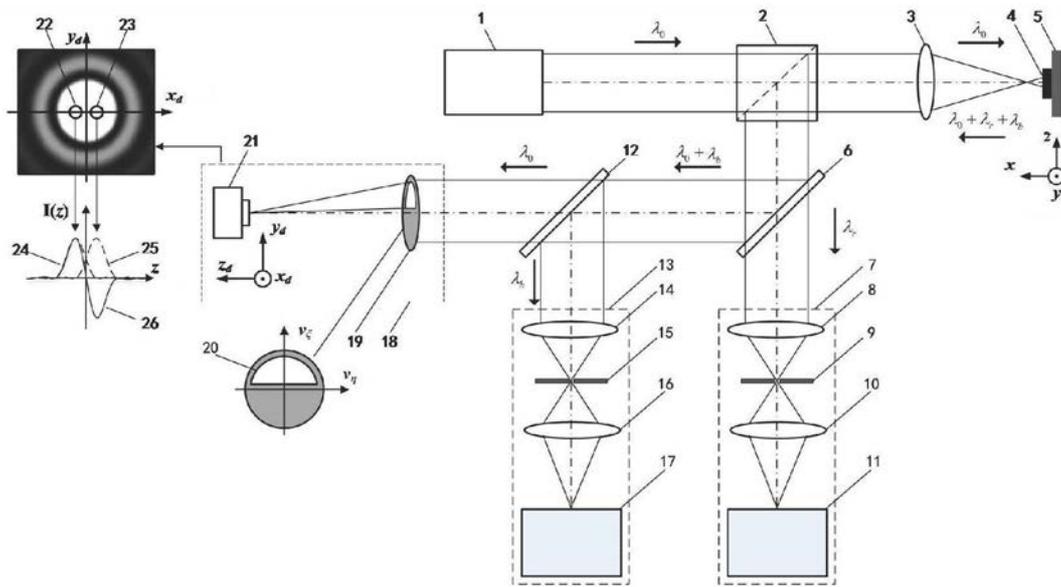


图3

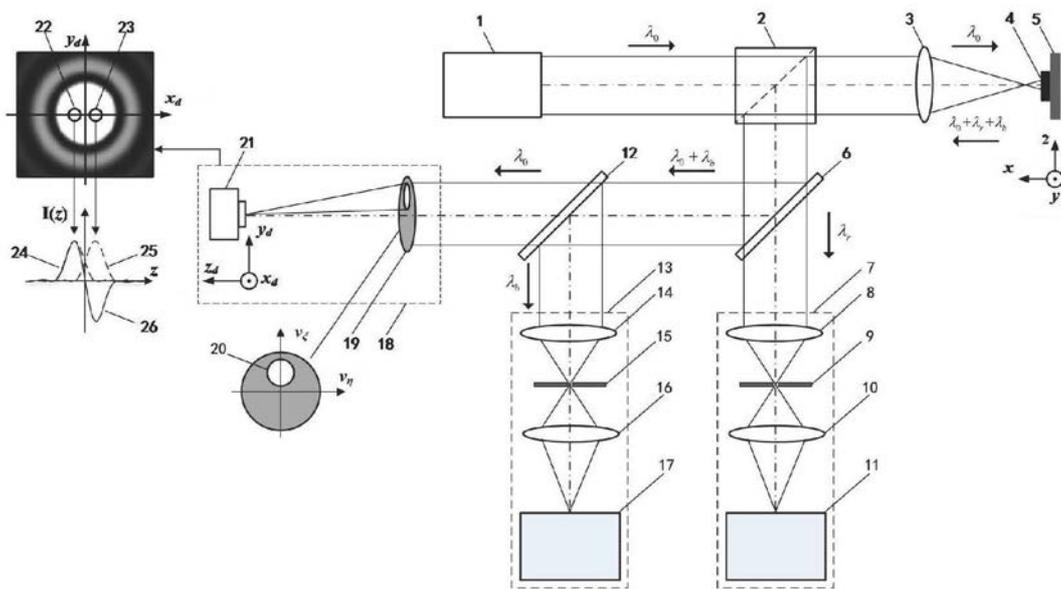


图4

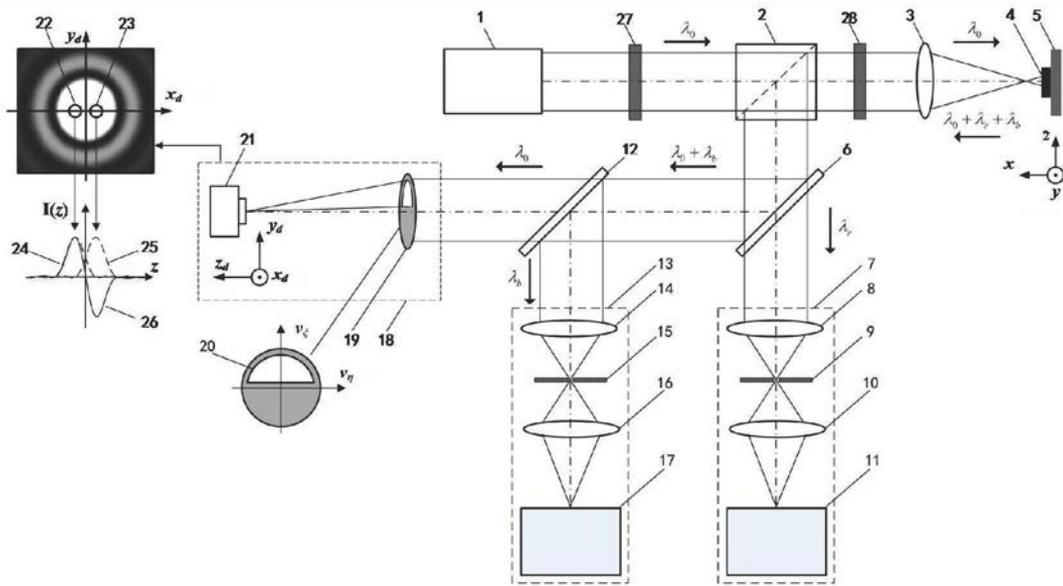


图5

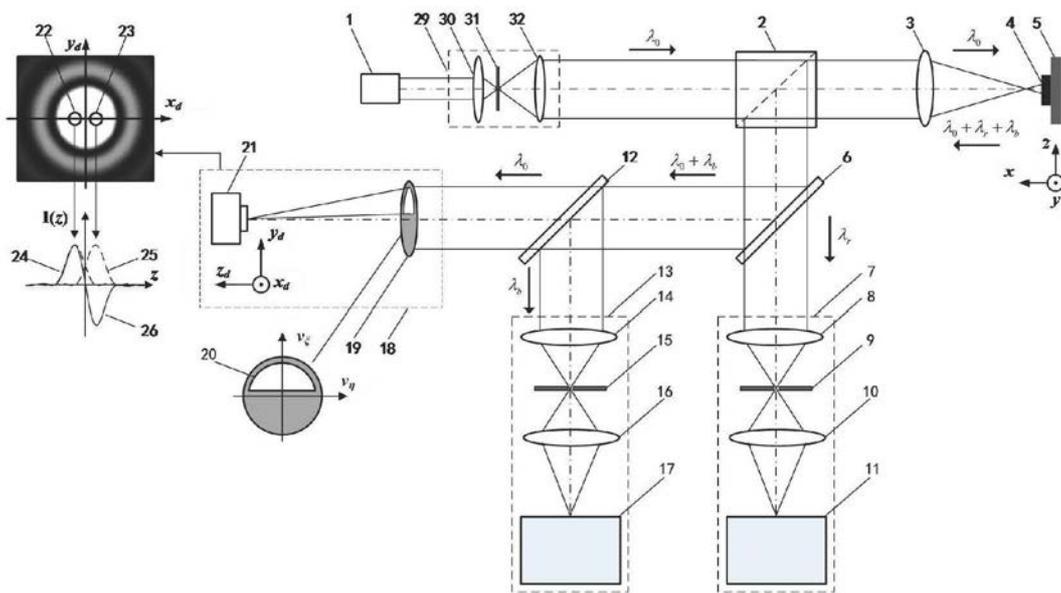


图6

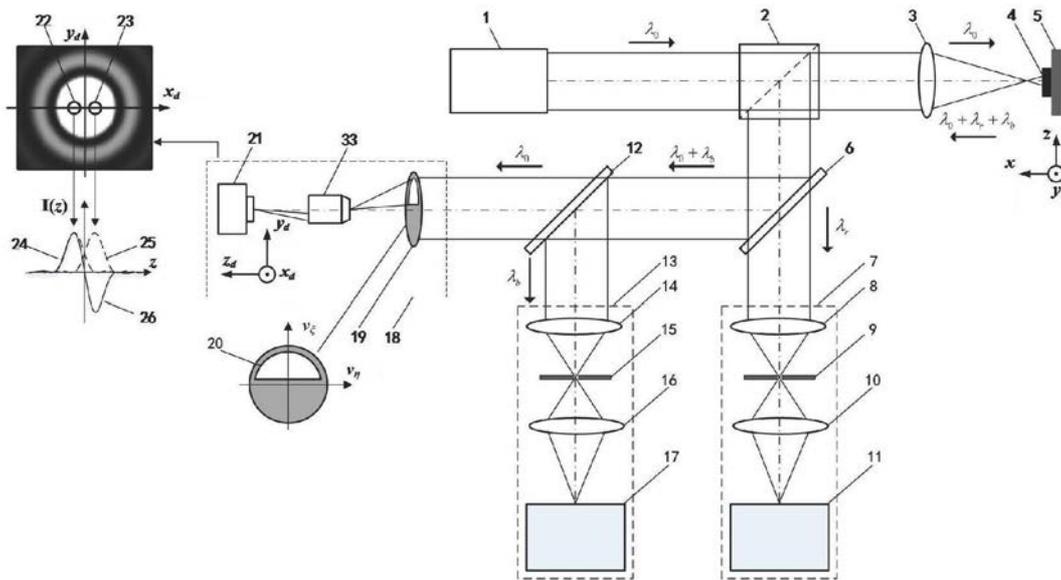


图7

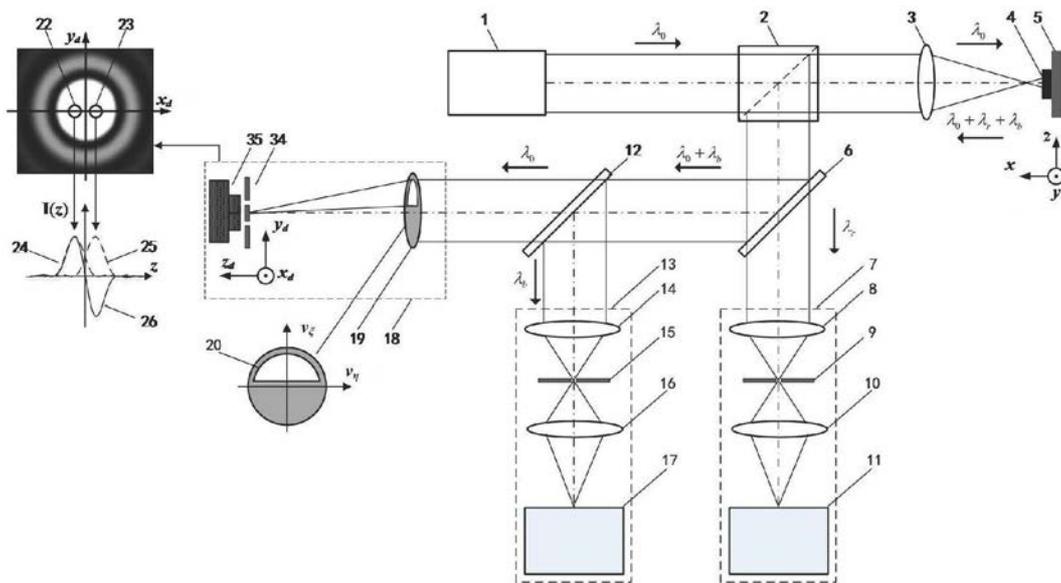


图8

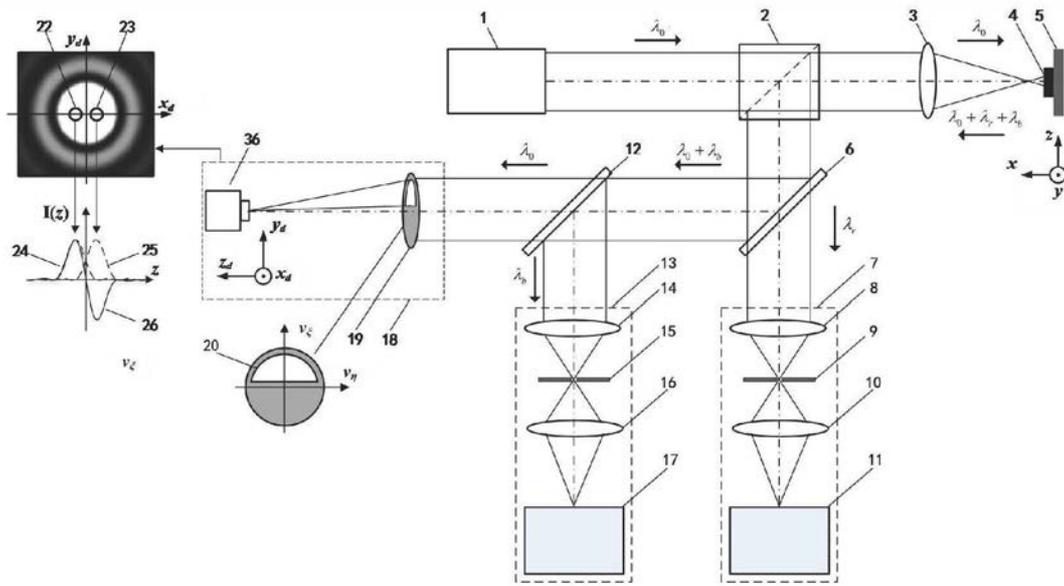


图9

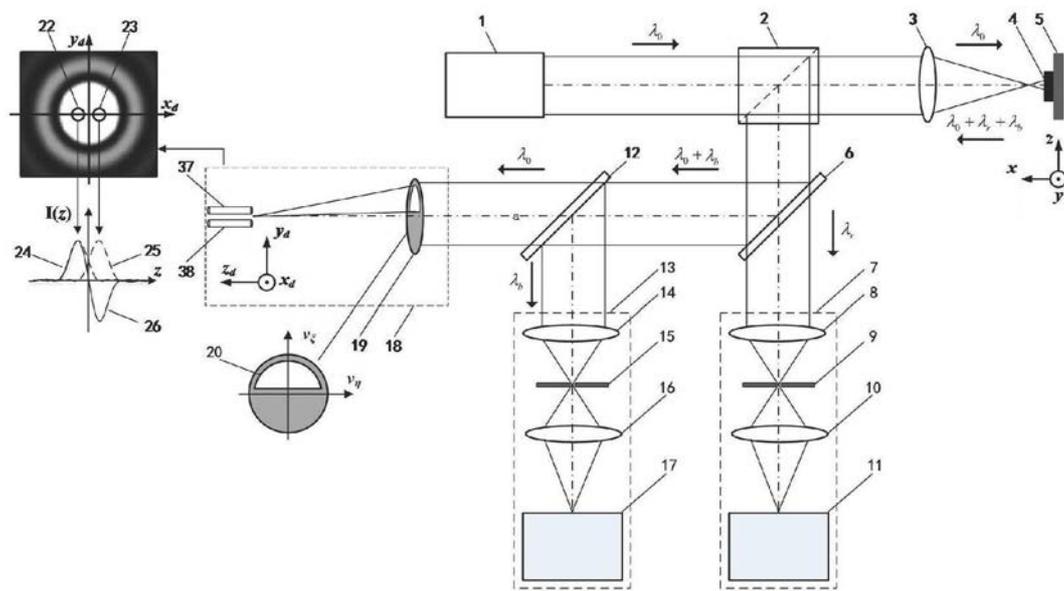


图10

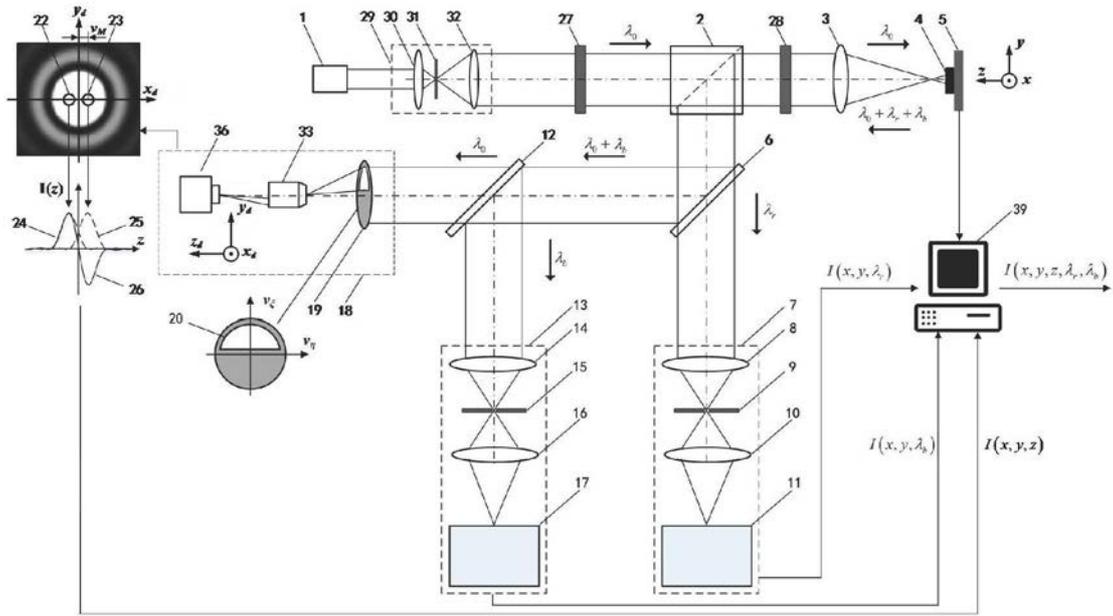


图11

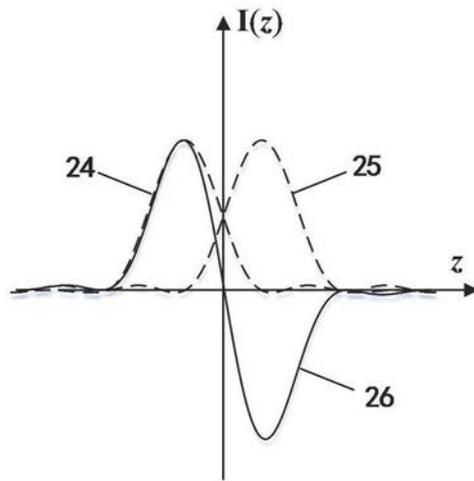


图12

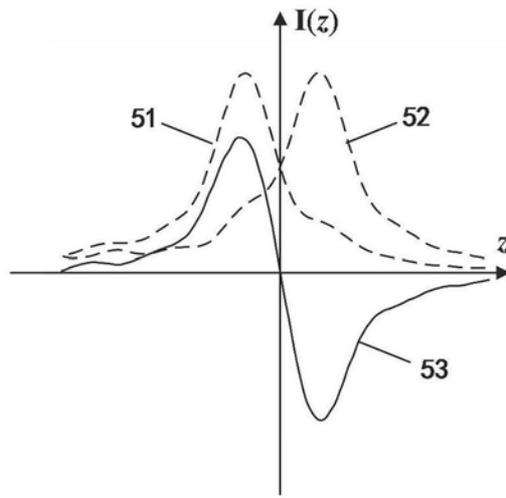


图13