

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 26/06 (2006.01)

G02B 27/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810050393.1

[43] 公开日 2008 年 7 月 30 日

[11] 公开号 CN 101231388A

[22] 申请日 2008.2.26

[21] 申请号 200810050393.1

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 曹召良 宣丽 胡立发 穆全全
彭增辉 刘永刚 李大禹 鲁星海

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所

代理人 南小平

权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 4 页

[54] 发明名称

一种消除扭曲型液晶波前校正器色差的方法

[57] 摘要

本发明属于自适应光学技术领域，是一种消除扭曲液晶波前校正器色差的方法。采用扭曲型液晶波前校正器进行波面校正时，通过液晶层的光偏振度会变差，部分光未经校正就出射，校正效果劣化。为了滤除这部分未经校正的杂光，需要用相息图法在扭曲型液晶波前校正器上施加一个液晶闪耀光栅，使通过液晶层校正的偏振光沿闪耀方向衍射，滤除没有被校正的杂光。但在液晶波前校正器上施加闪耀光栅后，不同波长的光束会依据折射率的不同在液晶层中发生色散，导致带有色差的像。本发明在扭曲液晶波前校正器后再放置一参数相同、位置共轭的液晶闪耀光栅，便可以消除扭曲型液晶波前校正器上的色散，形成良好图像。

1、一种消除扭曲液晶波前校正器色差的方法，其特征是相对液晶校正器上施加的闪耀光栅共轭放置另一参数完全一致的闪耀光栅来扭转不同波长光的传播方向，使其保持相互平行传播；所述的共轭放置就是两个闪耀光栅的光楔互为倒置放置。

一种消除扭曲型液晶波前校正器色差的方法

技术领域

本发明属于自适应光学技术领域，涉及扭曲型液晶波前校正器、闪耀光栅和消色差透镜等光学元件的组合技术，具体地说是一种消除扭曲型液晶波前校正器色差的方法。

背景技术

随着大口径望远镜的迅速发展，大气湍流成了限制其成像分辨率的最关键因素。自适应光学可以通过实时校正大气湍流造成的畸变波前而获得清晰的像，因此自适应光学系统成为近年远视光学中的热点课题。

自适应光学系统中最关键的器件是波前校正器。目前使用最多的波前校正器是可变形反射镜，而液晶波前校正器是一种新兴的校正器。由于其具有高像素密度、制作周期短、重量轻和价格低廉等优点而迅速发展起来。

扭曲型液晶波前校正器由于直接采用液晶显示屏的制作工艺，价格便宜而备受青睐。但是扭曲排列的液晶在受到电场驱动进行波面校正时，分子长轴向液晶层法线方向转动而使旋光能力下降，造成通过液晶层的光偏振度变差，部分光未经校正就出射，校正效果劣化。为了滤除这部分未经校正的杂光，需要用相息图法在液晶波前校正器上设置一个液晶闪耀光栅，使通过液晶层校正的偏振光沿闪耀方向衍射，出射方向称为一级衍射方向；而没有被正常旋光的光已失去偏振特性，不能发生衍射，沿零级位置出射，与被校正光分离。因此，扭曲型液晶波前校正器需要采用闪耀光栅的方法滤除杂光。

闪耀光栅的方法通常仅适用于单色光的场合，对于宽波段的光就会产生色散而使成像变得模糊不清。而仅利用单色光成像，则望远镜系统的光能利用率太低，大大减小了可视范围。为了解决这一问题，有人利用付立叶变换消色差透镜系统来消除闪耀光栅的色散，获得清晰的像。但是该系统制作复杂、成本高。

发明内容

本发明的目的是提供一个能够消除扭曲型液晶波前校正器色散的方法。

本发明的设计思想是相对液晶校正器上施加的闪耀光栅共轭放置另一参数完全一致的闪耀光栅来扭转不同波长光的传播方向，使其保持相互平行传播。

本发明所述的共轭放置两个闪耀光栅，就是互为倒置，如同图 1 所示的两个光楔互为倒置的放置方法即为共轭放置。

本发明的原理是：在液晶波前校正器上施加闪耀光栅后，相当于入射光以光栅的闪耀角入射液晶层，那么反射光中不同波长的光束会依据折射率的不同而发生色散，导致不同波长的光衍射会聚在不同位置；这样，不同波长的光所成的像会相对移位，造成像的模糊，也就是产生带有色差的像。如果在闪耀光栅后再放置一参数相同、位置共轭的闪耀光栅，便可以消除液晶波前校正器上闪耀光栅的色散。对于色散而言，闪耀光栅和光楔相当，因此，令光楔的顶角与光栅的闪耀角相等，就可利用光楔来说明消除色散的原理。首先利用单波长的蓝色平行光 a 进行分析，如图 1(a)所示，光楔的顶角为 θ ，光束 a 垂直入射第一光楔 1 后，向光楔底部偏折出射。根据折射定律可得：

$$n_a \sin \theta = n_1 \sin \theta_1 \quad (1)$$

式中 n_1 为空气的折射率， n_a 为光楔材料对应 a 光束波长的折射率， θ_1 为折射角。当该光入射到共轭放置的第二光楔 2 上时，设其折射角为 x，根据折射定律可得：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_a \sin x \quad (2)$$

将 (2) 式代入 (1) 式，可得： $\sin x = \sin \theta$ ，折射角 $x=\theta$ 。这样，经过第二光楔 2 后，出射光和第一光楔前的入射光完全平行，只是发生平移，这对成像位置没有影响。同理对于三束不同波长的平行光束 a 蓝光、b 绿光、c 红光，如图 1 (b) 所示，经过第一光楔发生色散，再经过第二光楔后可变成相互平行、有一定平移的平行光。因此，对于入射到液晶屏上闪耀光栅

的宽波段平行光，被其色散后再经过一共轭放置的参数相同的闪耀光栅便可以把光扭转为同方向传播、有一定平移的平行光。由于平移量很小，相对光束直径具有数量级的差别，所以光束直径的变化可以忽略。然后利用消色差透镜对这三束光进行会聚成像，便可以得到完全消色差的像。

附图说明

图 1 是本发明的原理图。图中 1 为第一光楔，2 为第二光楔，a、b、c 分别代表蓝、绿、红三色光， θ_1 为出射第一光楔时的折射角， θ 为光楔的顶角。

图 2 是本发明具体实施方式 1 结构图，采用两个闪耀光栅来产生和消除色散。图中 3 为光纤输出白光光源，4 为第一透镜，5 是第一闪耀光栅，6 为小孔滤波器，7 为第二闪耀光栅，8 为第二透镜，9 为接收屏。

图 3 是本发明具体实施方式 1 消色散前后的光纤束光斑像：(a) 从光路中移开第二闪耀光栅 7 的色散光斑像；(b) 经第二闪耀光栅 7 的消色散作用后所成的光斑像。

图 4 是将图 2 中接收屏 9 改换成黑白 CCD 相机，用黑白 CCD 相机接收到的消色散前后光纤束高分辨率成像：(a) 从光路中移开第二闪耀光栅 7 的光纤束色散像；(b) 经第二闪耀光栅 7 的消色散作用后所成的光纤束高分辨率成像。

图 5 是本发明具体实施方式 2 结构图，采用两个液晶屏上施加的闪耀光栅来产生和消除色散。图中 3 为光纤输出白光光源，4 为第一透镜，8 为第二透镜，9 为接收屏，10 是第一分束器，11 为第一液晶屏，12 是小孔，13 为第三透镜，14 为第二分束器，15 为第二液晶屏，16 为第四透镜，17 为计算机。

图 6 表示本发明实施方式 2 的消色差结果：(a) 第二液晶屏 15 没有施加共轭闪耀光栅的光纤束光斑色散像；(b) 第二液晶屏 15 上施加了共轭闪耀光栅所成的消色差光斑像。可以看出，经过闪耀光栅校正后的成像是消色差的像。

图 7 是本发明具体实施方式 2 将图 5 中接收屏 9 改换成黑白 CCD 相机，

用黑白 CCD 相机接收到的消色散前后光纤束高分辨率成像：(a) 第一液晶屏 11 和第二液晶屏 15 都没有施加闪耀光栅时光纤束的原始像；(b) 第一液晶屏 11 施加闪耀光栅、而第二液晶屏 15 没有施加共轭闪耀光栅的光纤束色散像；(c) 在第一液晶屏 11 和第二液晶屏 15 上分别施加共轭闪耀光栅后所成的高分辨率光纤束像。

图 8 是本发明具体实施方式 3 结构图，在液晶自适应系统中加入另一液晶屏，施加相对液晶校正器的共轭闪耀光栅来消除色散。图中 3 为光纤输出白光光源，4 为第一透镜，8 为第二透镜，10 是第一分束器，11 为第一液晶屏，12 是小孔，13 为第三透镜，14 为第二分束器，15 为第二液晶屏，17 是计算机，18 是反射镜，19 为第五透镜，20 为波前探测器，21 是 600nm 分色片，22 为 700nm 分色片，23 是 CCD 相机，24 为第六透镜。

图 9 是本发明具体实施方式 3 的成像结果：(a) 自适应校正后没有消色散的光纤束照片；(b) 在第二液晶屏 15 施加共轭闪耀光栅消色散后所成的光纤束自适应波面校正成像。

具体实施方式

为了验证该方法的可行性，给出如下具体实施方式。

具体实施方式一：

本发明具体实施方式一的光路结构如图 2 所示：由光纤束光源 3、第一透镜 4、第一闪耀光栅 5、小孔滤波器 6、第二闪耀光栅 7、第二透镜 8 和接收屏 9 构成。光纤束光源 3 置于第一透镜 4 的焦点位置，使透过第一透镜 4 的光变为平行光；平行光束通过第一闪耀光栅 5 产生色散，经小孔滤波器 6 滤去杂光，再经与第一闪耀光栅 5 相对倒置的第二闪耀光栅 7，使色散的光校正为平行光；平行光入射到第二透镜 8 上，被会聚成像在接收屏 9 上。系统中所使用的透镜均为消色差透镜。

为进一步理解本发明的具体实施方式一，下面详述实施方式一中各元件的参数和实施过程：

1) 光纤束光源 3 为白光、即可见光光源，出光直径 1mm，每根光纤直径 $25 \mu m$ 。

2) 第一透镜 4 和第二透镜 8 的参数相同, 口径均为 20mm, 焦距为 300mm。

3) 小孔滤波器 6 为出光面积可调谐方孔滤波器, 滤出、即只让第一闪耀光栅 5 的一级衍射光通过。

4) 第一闪耀光栅 5 和第二闪耀光栅 7 参数相同, 透射型, 为 100 对线/mm 的等腰三角形构成的闪耀光栅。

5) 接收屏 9 为硬质白纸, 接收成像。

6) 按图 2 连接各元件。

7) 开启光纤束光源 3, 这时将接收屏 9 移至第一闪耀光栅 5 和小孔滤波器 6 之间, 可以在接收屏 9 上观察到多个衍射级次; 调整小孔滤波器 6 的位置和孔面积大小, 只让正一级衍射光透过, 并令正一级衍射光通过第二闪耀光栅 7 和第二透镜 8 的光轴; 按图 2 归位接收屏 9 并微调其位置, 可以获得清晰的无色差光纤束像, 拍照; 再从光路中移开第二闪耀光栅 7, 接收屏 9 上显现色散的光纤束像, 拍照。

8) 利用黑白 CCD 相机置换接收屏 9, 以接收高分辨率成像结果。同样对第二闪耀光栅 7 消色散后所成的高分辨率光纤束成像拍照; 然后从光路中移开第二闪耀光栅 7, 对光纤束的色散像拍照。

图 3 表示本发明消色散前后的结果: (a) 光路中没有第二闪耀光栅 7 的消色散作用, 光斑的像为多个颜色的光斑“一”字形套构在一起, 横向尺寸是纵向尺寸的 2 倍之多; (b) 经第二闪耀光栅 7 消色散后所成的像, 多个颜色的光斑消失, 只有一个白色的光斑, 且横向尺寸与纵向尺寸相同, 这是经第二闪耀光栅消色散后所成的无色差像。

图 4 是利用黑白 CCD 相机置换接收屏 9 接收到的高分辨率成像结果: (a) 没有第二闪耀光栅 7 的光纤束色散像; (b) 经第二闪耀光栅 7 消色散后所成的高分辨率光纤束像, 可以看到 $25 \mu m$ 光纤孔的清晰成像, 证明了本发明的可行性。

具体实施方式二:

本发明具体实施方式二的光路结构如图 5 所示: 由光纤束光源 3, 第一

透镜 4，第二透镜 8，接收屏 9，第一分束器 10，第一液晶屏 11，小孔滤波器 12，第三透镜 13，第二分束器 14，第二液晶屏 15，第四透镜 16 和计算机 17 组成。光纤束光源 3 置于第一透镜 4 的焦点位置，使透过第一透镜 4 的光变为平行光；平行光束通过分束器 10 入射到第一液晶屏 11 上，利用相息图法在液晶屏 11 上通过计算机 17 施加闪耀光栅并产生色散，色散的反射光经分束器反射到第二透镜 8，再经小孔滤波器 12 滤出一级衍射光，该光束经第三透镜 13 后变为色散的准平行光透过第二分束器 14 到达第二液晶屏 15，利用控制软件在第二液晶屏 15 上施加与第一液晶屏 11 上共轭的闪耀光栅，使色散的光校正为平行光从第二液晶屏 15 反射出来；反射出来的平行光再经第二分束器 14 反射后入射到第四透镜 16 被会聚成像在接收屏 9 上。系统中所使用的透镜均为消色差透镜。

为进一步理解本发明具体实施方式二，下面详述实施方式二中各元件的参数和实施过程：

- 1) 第一分束器 10 与第二分束器 14 为消偏振分束器，能够使透射和反射光不改变其偏振状态。
- 2) 第一液晶屏 11 和第二液晶屏 15 为反射式硅基液晶屏，即 LCOS 屏；第一液晶屏 11 为扭曲型液晶校正器， 1024×768 象素，象素面积为 $19\mu\text{m} \times 19\mu\text{m}$ ，液晶屏口径 $15\text{mm} \times 20\text{mm}$ ；第二液晶屏 15 为平行型液晶校正器， 512×512 象素，象素面积 $15\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ ，液晶屏口径 $7.68\text{mm} \times 7.68\text{mm}$ ；二者与计算机相连，通过相息图法控制软件可在液晶屏上施加闪耀光栅，使出射光主要沿闪耀角方向、即一级衍射方向出射，产生和消除色散。
- 3) 小孔滤波器 12 为可调谐圆孔，以保证只有一级衍射光通过，其它的光被滤掉。
- 4) 第三透镜 13 和第四透镜 16 均为消色差透镜，口径 20mm ，焦距 300mm 。
- 5) 按图 5 连接各元件。开启光纤束光源 3；利用相息图法在第一液晶屏 11 垂直于光轴的方向上施加周期为 $133\mu\text{m}$ 、高 633nm

的直角三角形闪耀光栅，这时在第二透镜 8 的焦面上可以观察到多个衍射级次，调整小孔滤波器 16 的位置和大小，使一级衍射光透过；再在第二液晶屏 15 上施加共轭条件的闪耀光栅；移动调整接收屏 9 的位置，可以获得清晰的消色差光斑像，拍照；再去除第二液晶屏 15 上施加的共轭闪耀光栅，可以观察光斑的色散像，拍照。

- 6) 利用黑白 CCD 相机置换接收屏 9，以接收高分辨率成像。首先对第一液晶屏 11 和第二液晶屏 15 都不施加闪耀光栅，使光纤束的无色差原始像呈现在 CCD 上，拍照；然后在第一液晶屏 11 上施加闪耀光栅，而在第二液晶屏 15 上不施加共轭闪耀光栅，使光纤束的色散像呈现在 CCD 上，拍照；再在第二液晶屏 15 上施加共轭闪耀光栅，使之呈现高分辨率消色差光纤束像，拍照。

图 6 表示本发明实施方式 2 的成像结果：(a) 第一液晶屏 11 上施加闪耀光栅、而第二液晶屏 15 没有施加共轭闪耀光栅的光斑色散像；(b) 第二液晶屏 15 上施加了共轭闪耀光栅所成的消色差光斑像。

图 7 是利用 CCD 相机置换接收屏 9 接收到的高分辨率成像结果：(a) 第一液晶屏 11 和第二液晶屏 15 都没有施加闪耀光栅时光纤束的无色差原始像。它没有图 4 (b) 的图像清楚，这是由于本实施方式的光路中所使用的光学元件多，尤其是两个液晶屏引入 PV 值约 0.5λ 的波前畸变，使图像清晰度变差，但这种成像效果与色散引起的色差效果完全不同，它的几何尺寸在任意方向上都不会增大；(b) 第一液晶屏 11 上施加闪耀光栅，而在第二液晶屏 15 上不施加共轭闪耀光栅的色散像，看出许多像在横向套叠在一起，不但像的细节消失而且横向尺寸增大；(c) 经第二液晶屏 15 施加的共轭闪耀光栅消色差后所成的高分辨率光纤束像。可以看出，经过消色差后所成的像与原始像的分辨率一样，几乎能够分辨出 $25 \mu m$ 光纤的截面，说明经过本专利所述的消色散方法，已经消除了扭曲型液晶校正器上的色散。

具体实施方式三：

本发明具体实施方式三的光路结构如图 8 所示：这是消色散的液晶自适应闭环光路，由光纤束白光光源 3，第一透镜 4，第二透镜 8，第一分束器 10，第一液晶屏 11，小孔滤波器 12，第三透镜 13，第二分束器 14，第二液晶屏 15，反射镜 24，第五透镜 18，波前探测器 19，600nm 分色片 20，700nm 分色片 21，CCD 相机 22，第六透镜 23 和计算机 17 构成。第一液晶屏 11 作为波前校正器置于第一分束器 10 的透射光路上，第二液晶屏 15 为扭曲型液晶波前校正器的消色散元件置于第一分束器 10 的二次反射光路上，与第一液晶屏 11 共轭放置；从第一液晶屏 11 出射的色散准平行光在第二透镜 8 后会聚，使一级衍射光束与零级分开，并利用小孔滤波器 12 将一级衍射光滤出；一级衍射光经过第三透镜 13 后又成为准平行光入射到第二液晶屏 15 上消色散，第二液晶屏 15 以 1 度相对入射光轴放置，使得反射光在反射镜 24 处与入射光分离；反射镜 24 将从第二液晶屏 15 出射的消色散光折向第五透镜 18，使之透过透镜 18 后变为平行光；这一经过波面校正和消色散的平行光到达第二分束器 14 分为两束光，透射束入射到波前探测器 19，反射束经第六透镜 23 聚焦，并经过 600nm 分色片 20 和 700nm 分色片 21 后，入射到 CCD 相机 22 上进行成像。

为进一步理解本发明具体实施方式三，下面详述实施方式三中各元件的参数和实施过程：

- 1) 反射镜 24 为镀银反射镜，其表面的均方根误差为 $\lambda/50$ 。
- 2) 第五透镜 18 和第六透镜 23 均为消色差透镜，第五透镜 18 口径 15mm，焦距 150mm，第六透镜 23 口径 20mm，焦距 200mm。
- 3) 波前探测器 19 为哈特曼探测器，微透镜阵列为 32×32 ，口径 5mm。
- 4) 600nm 分色片 20 和 700nm 分色片 21 分别在 600nm 和 700nm 波长处透长波反短波，以使到达液晶波前校正器的光波段能够得到较高精度波前校正。
- 5) CCD 相机 22 为 CMOS 黑白型， 659×493 象素，口径 $6.5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 。

6) 按图 8 连接各元件。

7) 开启光纤束光源 3, 发出的宽波段光经第一透镜 4 变为平行光, 然后入射到第一液晶屏 11; 利用相息图法在液晶屏 11 上通过计算机 17 施加周期为 133 微米、高 633nm 的直角三角形闪耀光栅, 并按照波前探测器 19 给出的波前畸变信号进行波面校正; 不同波长的光从第一液晶屏 11 出射时产生色散, 然后被第一分束器 10 反射后入射到第二透镜 8 上; 经第二透镜 8 会聚的光在焦点处被小孔滤波器 12 滤出一级后入射到第三透镜 13 上又成为准平行色散光, 再入射到第二液晶屏 15 上; 第二液晶屏 15 上施加有共轭条件的闪耀光栅, 将入射的准平行色散光进行消色散; 同时第二液晶屏 15 相对入射光轴 1 度倾斜, 故反射出的消色散平行光再次经过第三透镜 13 汇聚后与入射光分离, 并被反射镜 24 反射到第五透镜 18 上; 经过第五透镜 18 后消色散平行光被第二分束器 14 分为两束, 一束透过第二分束器 14 进入哈特曼探测器, 用于探测剩余波面畸变, 另一束反射到第六透镜 23 变为会聚光, 该会聚光经过 600nm 分色片 20 和 700nm 分色片 21 后波段宽度变为 600nm-700nm, 最后入射到 CCD 相机 22, 形成消色散的自适应波面校正成像。

图 9 是实施方式 3 中利用 CCD 相机 22 接收到的波段宽为 600-700nm 的成像结果: (a) 在第二液晶屏 15 上不施加共轭闪耀光栅的、色差严重的、自适应波面校正的光纤束像; (b) 在第二液晶屏 15 上施加共轭闪耀光栅消色散后所成的自适应波面校正光纤束像, 波面残余畸变的 PV 值为 0.2λ, 所以分辨率比图 7 (c) 中的稍高。

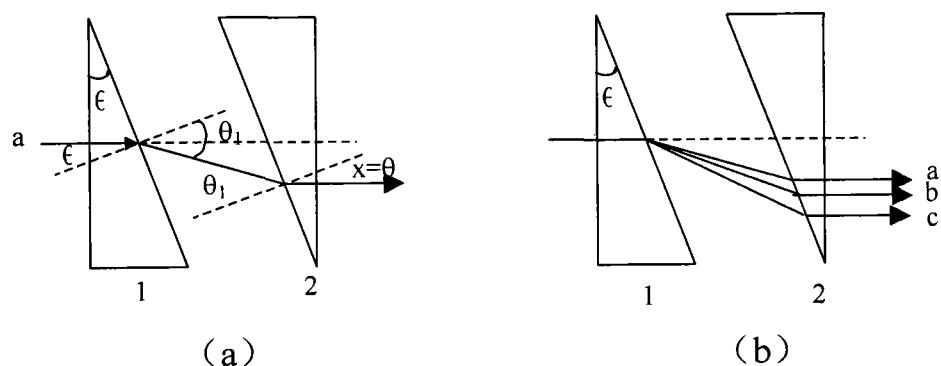


图 1

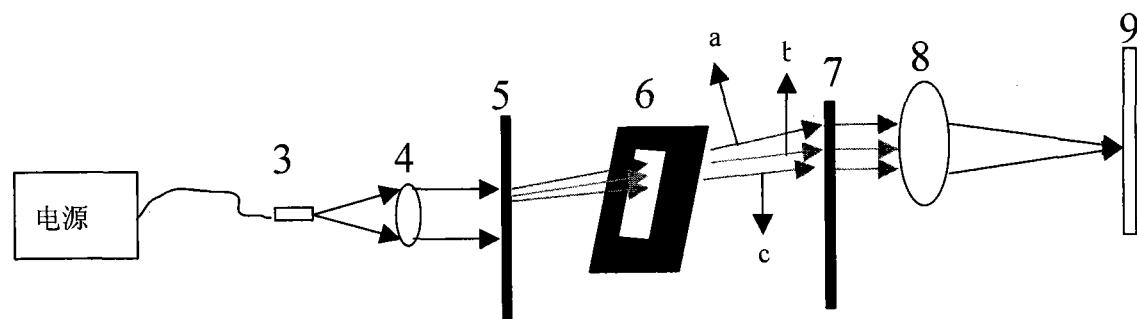


图 2

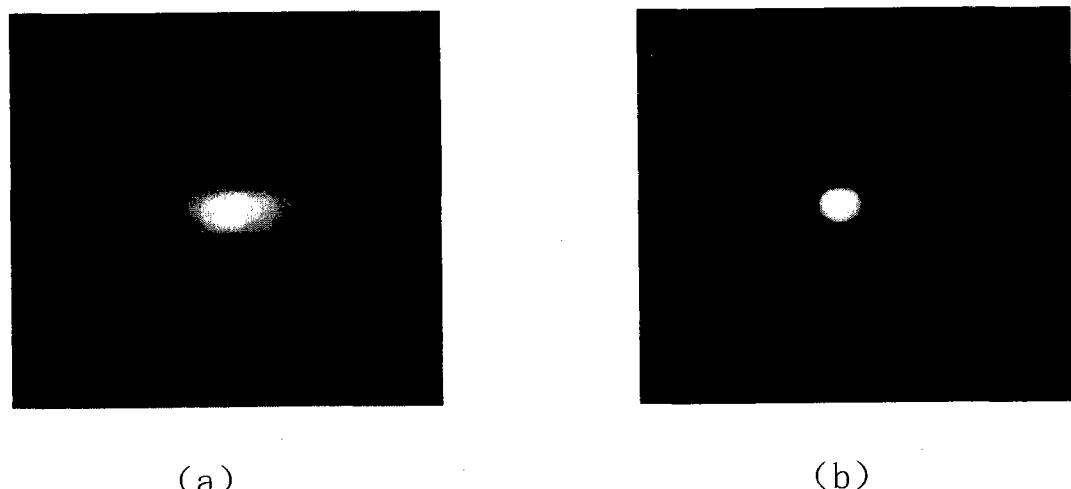
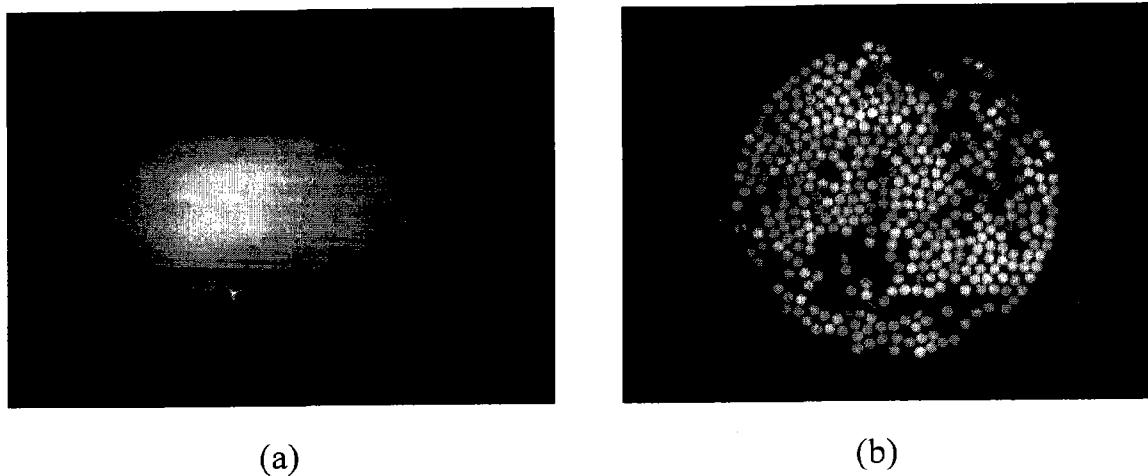


图 3



(a)

(b)

图 4

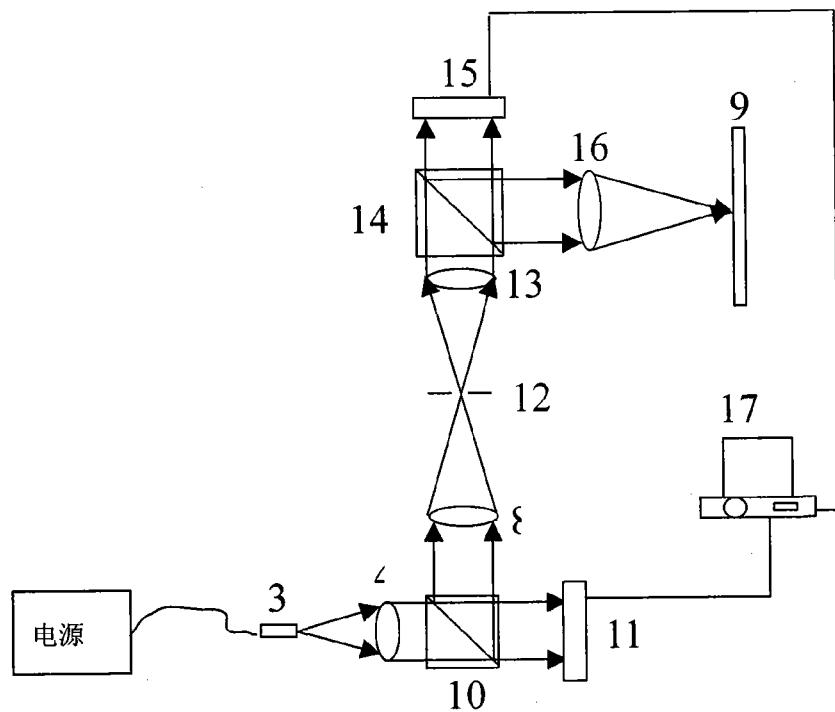
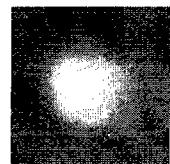
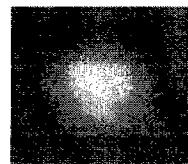


图 5

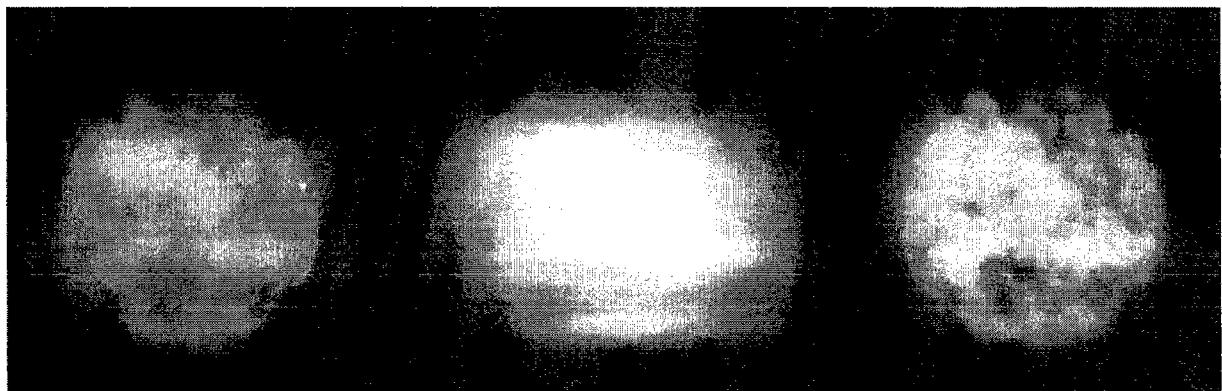


(a)



(b)

图 6



(a)

(b)

(c)

图 7

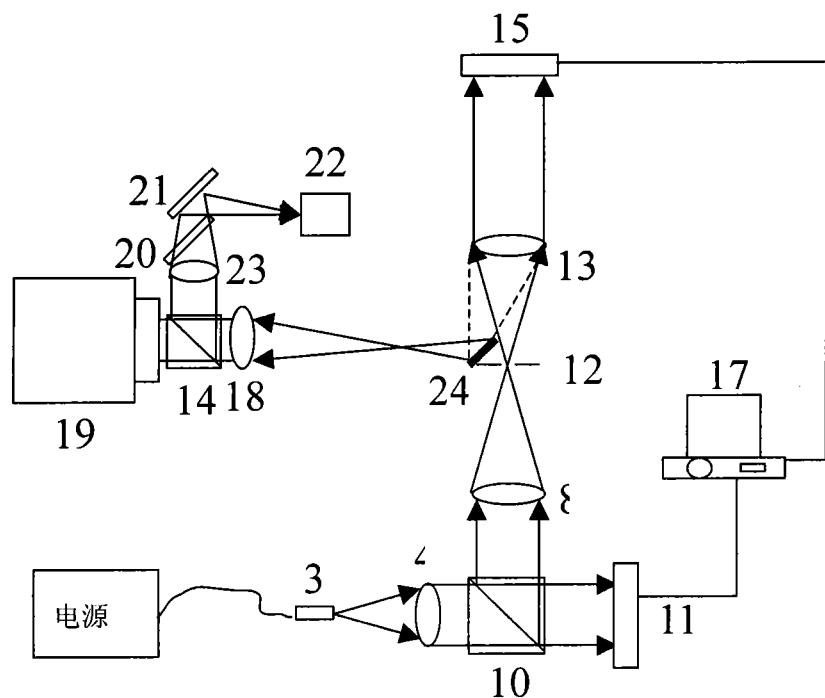
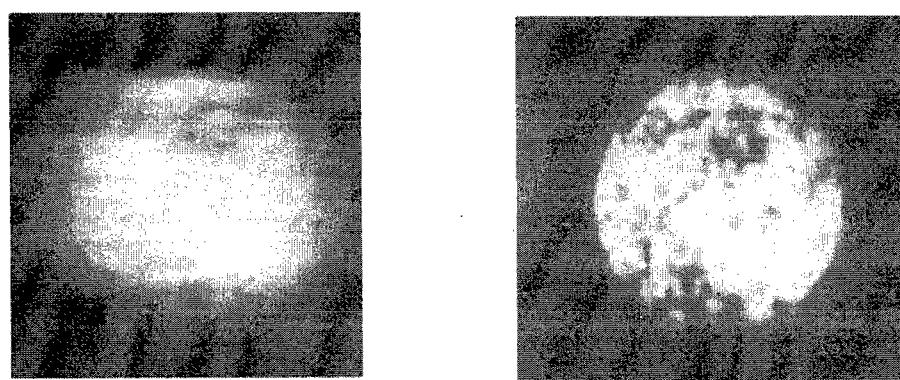


图 8



(a)

(b)

图 9