

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
B23K 26/00 (2006.01)  
H01S 3/10 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680054165.0

[43] 公开日 2009年4月22日

[11] 公开号 CN 101415519A

[22] 申请日 2006.8.3

[21] 申请号 200680054165.0

[30] 优先权

[32] 2006.3.2 [33] KR [31] 10-2006-0020143

[86] 国际申请 PCT/KR2006/003051 2006.8.3

[87] 国际公布 WO2007/100176 英 2007.9.7

[85] 进入国家阶段日期 2008.10.8

[71] 申请人 韩国标准科学研究院

地址 韩国大田广域市

[72] 发明人 郑世采 梁志祥 全炳赫 崔在赫

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司  
代理人 黄纶伟

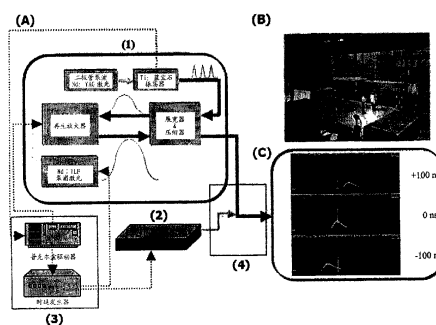
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 5 页

## [54] 发明名称

基于常规激光诱导材料变化的激光加工方法和加工装置

## [57] 摘要

本发明涉及一种显著地提高具有很高加工精度的常规超快激光微加工工艺的加工速度的技术。根据本发明，一种基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法使超快激光的脉冲和至少一个与所述超快激光不同的辅助激光的脉冲耦合，以可逆地改变待加工材料。



1、一种基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法，所述方法使超快激光的脉冲与不同于该超快激光的至少一种辅助激光的脉冲耦合，以可逆地改变待加工材料。

2、根据权利要求1所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法，其中所述超快激光振荡出小于1皮秒的激光脉冲。

3、根据权利要求2所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法，其中所述辅助激光脉冲被控制为随时间变化。

4、根据权利要求3所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法，其中所述超快激光的脉冲和所述至少一种辅助激光的脉冲之间的耦合是控制所述超快激光脉冲和所述辅助激光脉冲之间的相对时间位置的时间耦合。

5、根据权利要求4所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法，其中所述超快激光的脉冲和所述至少一种辅助激光的脉冲之间的耦合包括所述时间耦合和在空间上使所述超快激光束的焦点与所述辅助激光束的焦点一致的空间耦合。

6、根据权利要求4所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法，其中所述辅助激光束的脉冲宽度大于所述超快激光束的脉冲宽度。

7、根据权利要求1至6之任意一项所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法，其中所述基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法用于选自切割、钻孔、划线和切块的半导体加工工艺。

8、一种基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工装置，该装置包括：  
超快激光振荡器；  
辅助激光振荡器，该辅助激光振荡器包括随时间改变激光束脉冲的耦合电子装置；以及

聚焦光学系统，该聚焦光学系统用于使所述超快激光振荡器生成的超快激光束的焦点与时间耦合的辅助激光束的焦点在空间上耦合，并使所述超快激光束和所述辅助激光束聚焦。

9、根据权利要求 8 所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工装置，其中所述聚焦光学系统使所述辅助激光束聚焦在已聚焦的超快激光束之内。

10、根据权利要求 8 所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工装置，其中所述聚焦光学系统使所述辅助激光束聚焦在已聚焦的超快激光束之外。

11、根据权利要求 9 或 10 所述的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工装置，该装置还包括在所述超快激光振荡器和聚焦光学系统之间设置的偏振控制器，该偏振控制器用于利用步进电机控制半波长片的角度，以均匀地保持各个端口的已透过偏振分束器的光功率。

## 基于常规激光诱导材料变化的激光加工方法和加工装置

### 技术领域

本发明涉及基于激光诱导材料状态瞬变的激光加工方法，该方法非线性地提高了具有非常高的加工精度的超快激光微加工工艺的加工速度。

### 背景技术

随着电子和器件相关技术的发展，对于微加工工艺的需求日益增加。具体地说，由于大尺寸、小薄膜厚度、高集成度、高机械强度、高功能化组成材料和基板的多层涂覆结构的技术趋势，对于加工中封装和加工后封装的微加工技术的需要不断增加。这种加工技术要求约 100 微米的加工分辨率，因此通常使用金刚石锯切方法。然而，考虑到当前技术的发展趋势，由于机械和热损坏等的物理损坏，不能再使用金刚石锯切方法。由此，急需新的技术发展以克服诸如由于昂贵的金刚石锯片的磨损引起的成本增加的经济负担。为了克服传统的技术问题，最近提出了高功率的 UV 激光器。然而，由于对对象材料的冲击波和光化学损坏造成的机械损坏，高功率的 UV 激光器的使用存在局限性。然而，在生产下一代半导体材料和显示器件的加工工艺中，要求包括切割、钻孔、划线（scribing）和切片（dicing）的各种加工工艺的加工精度应达到数十微米而不造成对象材料的光电特性变化。

已知情况是，超快激光技术可非常有效地应用于微加工，因为与利用相对较长激光脉冲的各种传统加工技术相比，它把热—机损坏减到最小。

此外，基于诸如电子束和等离子体的高能粒子的微加工会使元件的材料产生热损坏，并且根据材料的种类不能加工某些材料。因此，正在积极地进行超短脉冲激光加工技术的开发，以努力解决基于高能粒子的

微加工的问题。

由于超快激光加工技术没有对于利用充足的激光功率提高加工速度不可缺少并很适用的放大技术，并且即使存在具有足够峰值功率的激光脉冲，也由于在加工过程之间在空气中的高阶非线性效应引起激光束特性的变化，无法提高加工速度。

克服上述问题的新技术的前提条件是保持超快激光加工的特性而免受热和机械损坏。当前的基于超快激光的微加工工艺和加工技术就加工速度而言还很差，为了将该涉及未来的技术应用于产业，急需开发新的加工技术。为了克服基于超快激光的微加工工艺的局限性，需要采用了通常用于传统的相对长脉冲激光加工工艺的自适应光学系统的技术，因为原先的超快激光脉冲宽度和光束特性已经完全改变。当采用了自适应光学系统时，具体地说，由于脉冲宽度增大，在传统的相对长脉冲宽度的激光加工工艺中造成问题的热变形会降低加工质量。

#### 发明内容

#### 技术问题

因此，开发了本发明以解决现有技术中出现的上述问题，并且本发明的主要目的是提供一种用于提高基于超快激光的微加工工艺的加工速度的基于激光诱导材料瞬态变化的激光加工方法和加工装置。

本发明的另一目的是提供一种基于激光诱导材料状态瞬态变化的激光加工方法和加工装置，其能够显著减小由大小为数十到数百纳米的微结构造成的表面粗糙度，该微结构形成在通过超快激光工艺加工的材料表面上，能够实现 1 微米级的加工，当对微光学器件施加所述超快激光加工工艺时产生该微结构。

#### 技术方案

为了实现本发明的目的，提供了一种基于激光诱导材料状态瞬态变化的激光加工方法，所述方法使超快激光的脉冲与不同于该超快激光的至少一个辅助激光的脉冲耦合，以可逆地改变待加工材料。

所述超快激光器振荡出小于 1 皮秒的激光脉冲。

所述辅助激光束的脉冲被控制为随时间变化。

所述超快激光器的脉冲和所述至少一个辅助激光器的脉冲之间的耦合是控制所述超快激光脉冲和所述辅助激光脉冲之间的相对时间位置的时间耦合。

所述超快激光器的脉冲和所述至少一种辅助激光器的脉冲之间的耦合包括时间耦合和在空间上使所述超快激光束的焦点与所述辅助激光束的焦点一致的空间耦合。

所述辅助激光束的脉冲宽度大于所述超快激光束的脉冲宽度。

所述激光加工方法用于选自切割、钻孔、划线和切片的半导体加工工艺。

为了实现本发明的目的，提供了一种基于激光诱导材料状态瞬态变化的激光加工装置，该装置包括：超快激光振荡器；辅助激光振荡器，该辅助激光振荡器包括随时间改变激光束脉冲的耦合电子装置；以及聚焦光学系统，该聚焦光学系统用于在空间上使所述超快激光振荡器生成的超快激光束的焦点与时间耦合的辅助激光束的焦点耦合，并使所述超快激光束和所述辅助激光束聚焦。

所述聚焦光学系统使所述辅助激光束聚焦在已聚焦的超快激光束之内。

所述聚焦光学系统使所述辅助激光束聚焦在已聚焦的超快激光束之外。

基于激光诱导材料状态瞬态变化的激光加工装置还包括在所述超快激光振荡器和所述聚焦光学系统之间设置的偏振控制器，该偏振控制器用于利用步进电机控制半波长片的角度，以均匀地保持各个端口的透过偏振分束器的光功率。

#### 有益效果

本发明提出了第一项超快激光加工技术，其中，通过常规的商用激光（如纳秒激光）与超快激光的时间-空间耦合，利用相对较少的超快激光能量局部并瞬时地改变待加工材料的物理状态（例如内部温度或载流子密度），并可逆地诱导物理状态的瞬态变化，从而能够显著地提高加工

速度。更具体地，将诸如具有适当波长的纳秒激光的常规激光照射到待加工材料上，以瞬时地提高材料的内部温度或诸如自由电子的载流子的密度。在此，将激光的能量保持在使材料的状态可逆变化的程度，使得材料的状态没有实质的改变。这种材料状态改变使得能够通过同时照射到同一点上的超快激光来进行加工，在相同的能量状态下显著地提高加工速度。这里，优化辅助激光的波长和脉冲宽度，以考虑超快激光的脉冲烧蚀深度和加工速度而三维地优化材料物理变化（例如内部温度或载流子密度）的深度分布。为此，本发明使不同激光的脉冲在时间和空间上耦合。

此外，本发明可利用耦合纳米激光来减少在超快激光加工中在材料表面上生成的大小为数十到数百微米的微结构的数量，以显著地降低材料的表面粗糙度。

#### 附图说明

根据随后的详细描述结合附图可更全面地理解本发明的其他目的和优点，图中：

图 1A 例示了纳秒/超快激光混合加工工艺；

图 1B 是纳秒/超快激光混合加工装置的照片；

图 1C 示出了纳秒和超快激光脉冲之间三个不同时间-100ns、0ns 和 +100ns 处的脉冲；

图 2 例示了纳秒/超快激光混合加工工艺中待加工对象的温度以及载流子密度和光诱导反应的程度的变化；

图 3 示出了硅划线加工工艺中纳秒激光和超快激光的脉冲的间隔；

图 4 是加工后的硅表面的原子力显微图片；

图 5 是示出加工后的截面的曲线图；以及

图 6 是示出两种不同激光的间隔的变化和加工后的截面面积的的变化之间的关系图。

#### 附图标记的说明

1：超快激光振荡器

- 2: 辅助激光振荡器
- 3: 耦合电子装置
- 4: 聚焦光学系统

### 具体实施方案

下面将参考附图结合优选实施方案详细描述本发明。

图 1A 例示了纳秒/超快激光混合加工工艺，图 1B 是纳秒/超快激光混合加工装置的照片，图 1C 示出纳秒和超快激光脉冲之间在三个不同时间 100ns、0ns 和+100ns 处的脉冲，图 2 例示了纳秒/超快激光混合加工工艺中待加工的对象温度以及载流子密度和光诱导反应的程度的变化，以及图 3 是示出硅划线加工工艺中纳秒激光和超快激光的脉冲的间隔的图。图 4 是纳秒和超快激光脉冲之间的不同时间间隔下的加工后硅表面的原子力显微图片，图 5 是示出加工后的截面轮廓的图，以及图 6 是示出两种不同激光的间隔变化和加工后的截面面积的变化之间的关系图。参考图 1，根据本发明的基于激光诱导材料状态瞬态变化的激光加工装置包括超快激光振荡器 1，具有用于随时间改变激光束脉冲的耦合电子装置 3 的辅助激光振荡器 2，以及用于将由超快激光振荡器 1 产生的超快激光束的焦点与时间耦合的辅助激光束的焦点在空间上耦合并使超快激光束和辅助激光束聚焦的聚焦光学系统 4。

超快激光器 1 可使用飞秒激光器或皮秒激光器，而辅助激光器 2 可使用纳秒激光器。辅助激光束的脉冲宽度比超快激光器的脉冲宽度长。

在本发明中，飞秒激光器用作超快激光器 1，而纳秒激光振荡器用作辅助激光振荡器 2。

飞秒激光和纳秒激光的时间耦合是指控制飞秒脉冲和纳秒脉冲的相对时间位置以在对材料进行激光加工时瞬态地改变材料的物理状态，而空间耦合是指飞秒激光束的焦点和纳秒激光束的焦点彼此一致。为了获得混合效应，同时要求时间耦合和空间耦合。飞秒激光器是 Ti: 蓝宝石放大器系统，其脉冲宽度为 150fs，重复频率为 1kHz，波长为 800nm。纳秒激光器的脉冲宽度为 250ns，重复频率为 1kHz，波长为 532nm。

纳秒激光的稳定在混合激光加工系统的加工质量中起决定作用。本发明构建了纳秒激光的腔外稳定系统 (extra-cavity stabilization system)。腔外稳定系统包括偏振分束器和半波长片, 并利用步进电机控制半波长片的角度, 以在监测最终输出级的测量值的同时接近预定功率值。结果, 在通过有源稳定系统后约 2% 的长期稳定度变为小于 0.5%, 从而获得满意的稳定效果。可通过使用时延发生器并调节时延而使施加到飞秒激光器和纳秒激光器的电信号耦合, 来控制飞秒脉冲和纳秒脉冲的时间耦合。图 1B 示出了如上构建的激光加工装置的照片。图 1C 示出了由上述方法控制的飞秒脉冲和纳秒脉冲之间的相对时间位置。通过使施加给飞秒激光的放大级所需的绿激光器的普克尔盒 (pockels cell) 的触发脉冲与纳秒激光器的触发脉冲耦合, 可任意地对飞秒激光和纳秒激光的脉冲给定约 -100ns 到数十微秒的时间间隔。可以利用计算机进行控制以实现加工速度的优化。

图 2 解释了当加工样品时, 飞秒激光和纳秒激光的时间耦合造成样品的局部温度变化, 以降低飞秒激光加工需要的烧蚀阈值能量, 并提高加工速度。当提高纳秒激光器的功率时, 加工材料的物理状态, 例如材料温度或材料中的载流子密度会变化。在此, 可以控制能量, 使得纳秒激光不能单独诱发不可逆的变化。当耦合的飞秒激光脉冲被导入相同空间时, 可用较少的能量进行对材料的大量不可逆烧蚀。因此, 可以最大程度地提高飞秒激光加工的加工速度, 并且加工阈值能量的降低能够显著地减小飞秒激光在空气中聚焦时伴随的高阶非线性以及由该高阶非线性导致的加工质量劣化。此外, 当提高飞秒激光的重复频率的技术改善时, 加工速度的提高可获得乘法效应, 而不是加法效应。另外, 通过优化纳秒激光的聚焦平面的适当空间变化和纳秒激光的脉冲宽度, 可进一步提高加工速度。

图 2 示出纳秒激光束聚焦在由聚焦光学系统聚焦的飞秒激光束之内。聚焦光学系统可以使纳秒激光束聚焦在已聚焦的飞秒激光束之外。这对于钻孔是非常有用的。

图 3 示出在混合加工中施加在硅晶片上的脉冲。在本发明中, 给出

了约 800ns 的脉冲间隔。利用 AFM（原子力显微镜）对施加了激光脉冲的硅晶片的表面进行分析。图 4 示出了加工部分的测量曲线。参考图 4，当纳秒激光和飞秒激光之间的时间间隔变为 0 时加工部分的变化最大。图 5 示出测量截面和纳秒激光与飞秒激光之间的时间间隔变化的关系。参考图 5，对截面而言加工速度明显提高。图 6 示出烧蚀面积作为纳秒和飞秒激光脉冲之间的时间间隔（延迟时间）的函数。参考图 6，对截面中的烧蚀面积而言加工速度提高了超过 10 倍。

将对基板的纳秒激光诱导物理变化对飞秒激光加工工艺的影响的评估和优化加工条件的技术开发的研究应用于硅晶片划线加工中。由于在包括封装工艺的各种工艺中使硅晶片变薄的处理的加速，对于新的下一代加工技术的需求有所增加。因为诸如金刚石锯切的机械加工工艺造成机械损坏并且由于金刚石锯的磨损造成加工成本增加，对非常薄且硬的晶片很难直接应用常规的机械锯切方法，因此急需新的加工技术。因此，本发明提出的技术是非常有意义的。

因此，在加工速度上本发明克服了加工技术的局限性，这种局限性是具有高加工精度的传统超快激光微加工工艺的缺点。要求提高加工速度，同时保持飞秒激光加工特性而免受由于飞秒激光放大技术的局限性和聚焦过程中的高阶非线性效应引起的热损坏和机械损坏。本发明是能够利用相对少的超快激光能量通过在时间-空间上使常规的商用激光（例如纳秒激光和飞秒激光）耦合并局部瞬时地改变加工材料的物理状态（例如内部温度），显著地提高加工速度的第一项超快激光加工技术。更具体地说，将诸如具有适当波长的纳秒激光的常规激光照射到加工材料上以瞬时地提高材料的内部温度或诸如自由电子的载流子密度。在此，诱导激光的能量保持在使材料的状态可逆地改变的程度，使得材料的状态没有实质性的改变。这种状态改变明显地改善了利用以相同能量照射到同一点的超快激光的加工工艺。优化诱导激光的波长和脉冲宽度，以便考虑超快激光脉冲的烧蚀深度和加工速度三维地优化物理变化（例如材料的内部温度）的深度分布。为了实现此构想，本发明使不同激光的脉冲在时间上或空间上进行耦合。

## 工业实用性

如上所述，本发明可利用相对少的超快激光能量通过在时间-空间上使常规的商用激光（例如纳秒激光和飞秒激光）耦合并局部瞬时地改变加工材料的物理状态（例如内部温度或载流子密度），克服了常规超快激光微加工工艺的加工速度的局限性，从而显著地提高加工速度。因此，本发明有助于超快激光微加工工艺的工业化。具体地说，本发明使得能够进行不能应用常规加工技术的下一代半导体和显示器加工工艺中必需的多种加工工艺，包括切割、钻孔、划线和切块。此外，本发明可将加工精度提高到数十微米而不造成加工材料的光-电特性的改变。

尽管参考具体的示例性实施方式描述了本发明，但本发明不限于这些实施方式而由所附权利要求限定。可理解的是本领域技术人员可在不脱离本发明的范围和精神的情况下改变或修改实施方式。

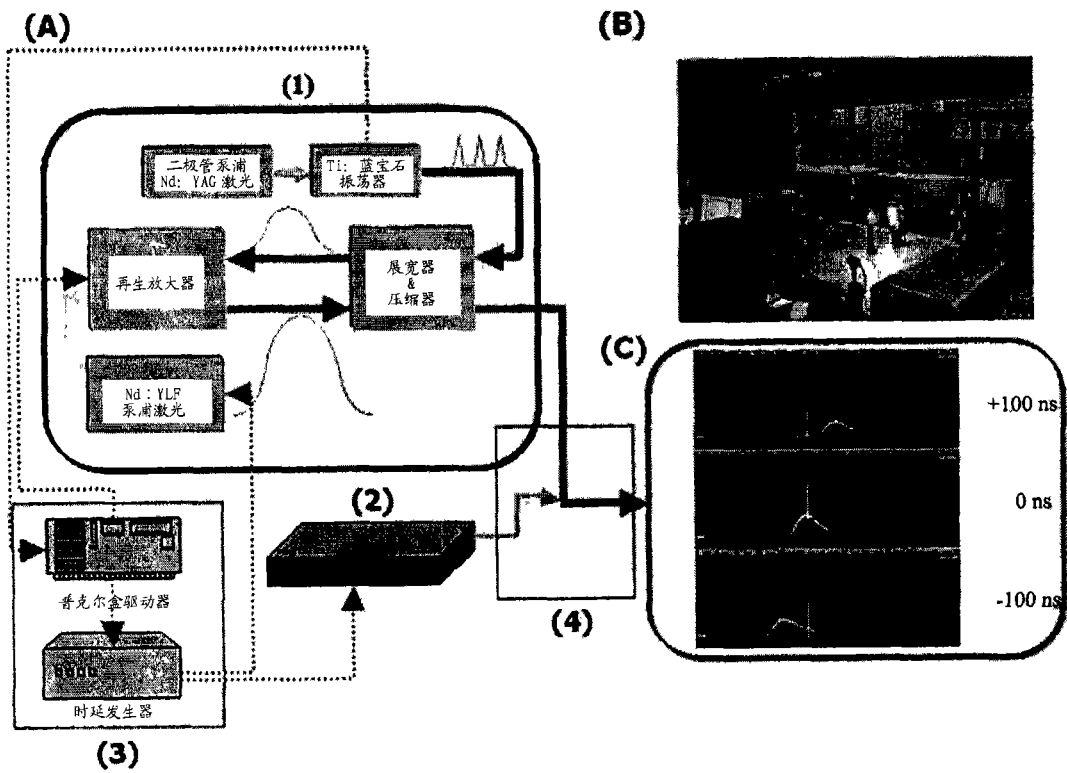


图 1

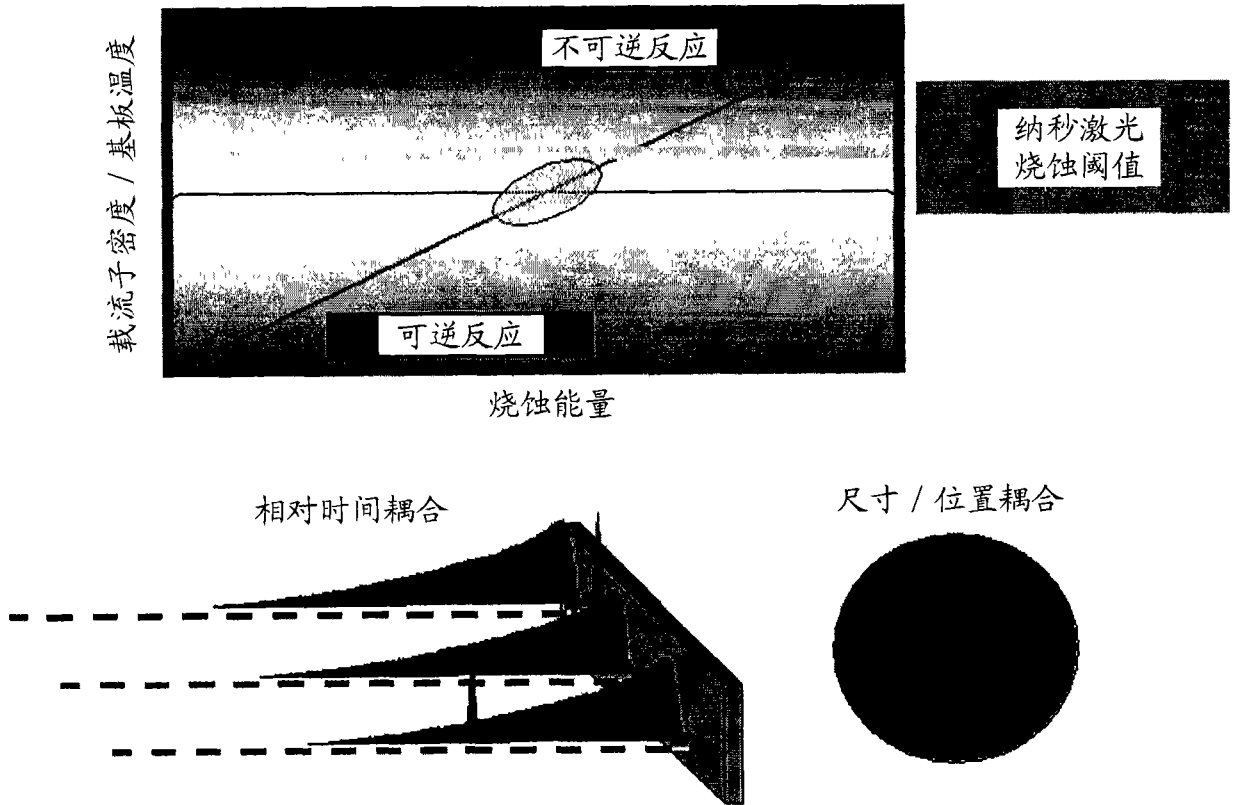


图 2

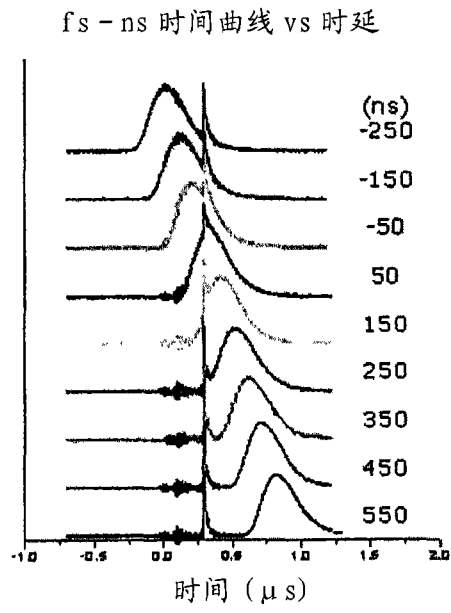


图 3

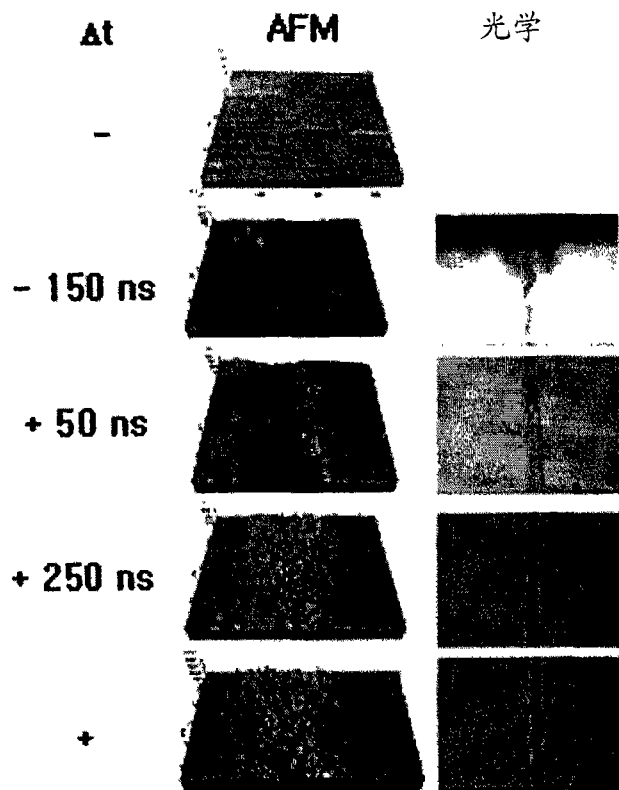


图 4

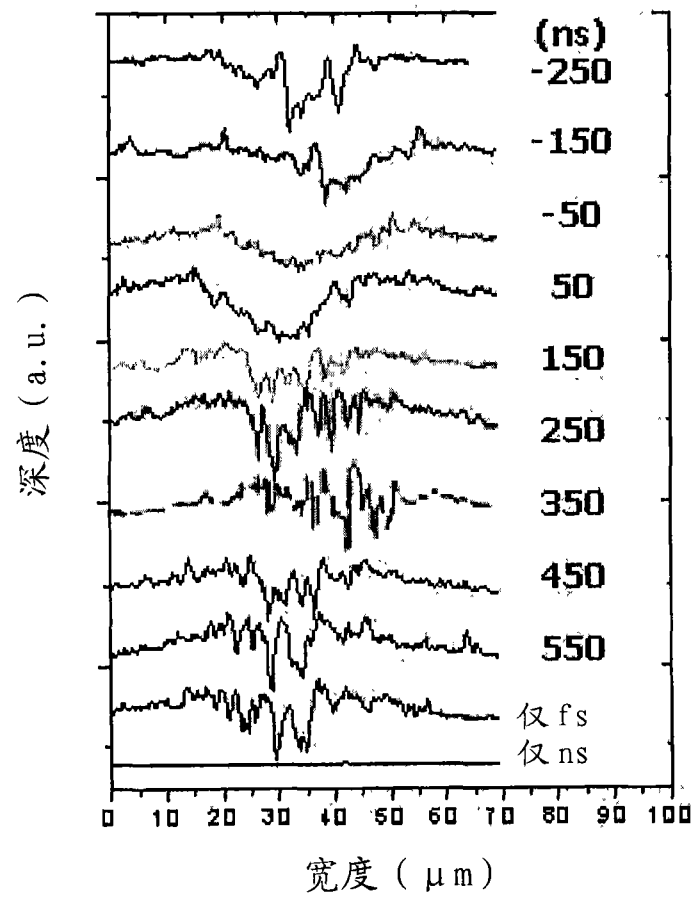


图 5

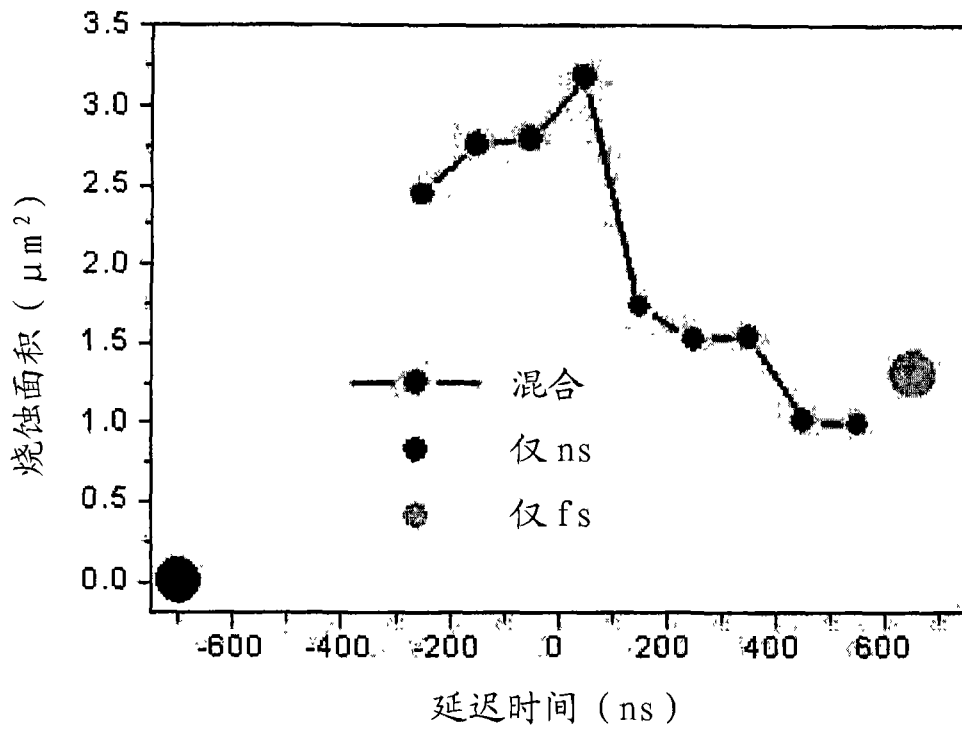


图 6