



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114308395 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 08

(21) 申请号 202111586138.0

CN 111682085 A, 2020.09.18

(22) 申请日 2021.12.20

CN 111111924 A, 2020.05.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

EP 3778024 A1, 2021.02.17

申请公布号 CN 114308395 A

US 2003047676 A1, 2003.03.13

(43) 申请公布日 2022.04.12

TW 201104238 A, 2011.02.01

(73) 专利权人 中南大学

US 2010137157 A1, 2010.06.03

地址 410000 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

US 2011250402 A1, 2011.10.13

CN 101751952 A, 2010.06.23

US 2014204372 A1, 2014.07.24

(72) 发明人 熊莎 甘润菊 黄一航 麦文硕

汪涵聪, 李志鹏. 表面增强光学力与光操纵研究进展.《物理学报》.2019, 第68卷(第14期), 第144101-1-15页.

(74) 专利代理机构 长沙轩荣专利代理有限公司

张聿全等. 飞秒光镊技术研究与应用进展.《中国激光》.2021, 第48卷(第19期), 第191800-1-14页.

43235

专利代理师 李崇章

审查员 张永备

(51) Int. Cl.

B03C 11/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 111834028 A, 2020.10.27

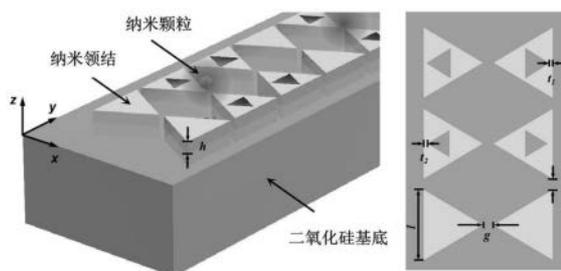
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

纳米颗粒分选器件结构及用于颗粒捕获分选的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种纳米颗粒分选器件结构, 包括二氧化硅基底、纳米领结阵列及平面光波及纳米颗粒, 所述二氧化硅基底作为纳米领结阵列的基底, 用于吸收激光光场中产生的焦耳热; 所述纳米领结阵列设于二氧化硅基底上, 用于与激光作用形成局域电场, 对纳米颗粒进行捕获和分选; 所述平面光波, 用于提供光源并与纳米领结阵列作用产生消逝场; 所述纳米颗粒, 作为被捕获和分选的对象。本发明能够实现对捕获物质的无损操控, 可以稳定捕获纳米颗粒, 并且可以利用纳米领结阵列和纳米颗粒的共振频率分离良好来实现对颗粒的分选。



1. 一种纳米颗粒分选器件结构,其特征在于:包括二氧化硅基底、纳米领结阵列及平面光波及纳米颗粒,所述二氧化硅基底作为纳米领结阵列的基底,用于吸收激光光场中产生的焦耳热;所述纳米领结阵列设于二氧化硅基底上,用于与激光作用形成局域电场,对纳米颗粒进行捕获和分选;所述平面光波,用于提供光源并与纳米领结阵列作用产生消逝场;所述纳米颗粒,作为被捕获和分选的对象;

所述纳米领结阵列包括三对金领结结构,且该三对金领结结构在每一个周期结构不相同,三对所述金领结结构中挖空有两个等边三角形,被挖空的等边三角形的顶角与外三角形的顶角方向相反,被挖空的等边三角形顶点到外三角形边的距离可以为30nm、5nm、2nm。

2. 根据权利要求1所述的纳米颗粒分选器件结构,其特征在于:所述平面光波的入射方向垂直纳米领结阵列以及二氧化硅基底的方向设置。

3. 一种纳米颗粒捕获分选的方法,其特征在于,包括如权利要求1-2任一项所述的纳米颗粒分选器件结构,其具体步骤如下:

步骤一、先将纳米颗粒分选器件结构进行建模,确定三维分解的方向;再计算纳米颗粒分选器件结构在X方向线性偏振的平面光波照射下在纵向切面以及横向切面的电场增强图;

步骤二、确定纳米颗粒分选器件结构的尺寸;

步骤三、定量分析纳米颗粒分选器件结构捕获纳米颗粒的能力;先利用麦克斯韦张量法或者体积法计算线偏振光下光合力在三维方向光分力的分解,即(x, y, z)三个方向上进行三个光分力 F_x 、 F_y 、 F_z 的分解,分析三个光分力在纳米领结阵列上方处所受到的光力,得到颗粒的有效捕获范围;

步骤四、根据不同纳米颗粒的共振波长选择三种对应的波长,并调整光场强度,在使用不同光波长条件下,利用纳米颗粒分选器件结构分选出不同尺寸的纳米颗粒;

步骤五、计算平面光波下纳米颗粒分选器结构件捕获纳米颗粒的捕获和分选能力;

步骤六、计算纳米颗粒分选器件结构捕获纳米颗粒的分选能力随激光强度的变化。

4. 根据权利要求3所述的纳米颗粒捕获分选的方法,其特征在于,所述步骤三中定量分析纳米领结阵列捕获纳米颗粒的捕获势能;以势能的最后值为能量参考点,将力沿着所需方向一维积分得到势能,当势能大于 $1K_B T$,颗粒就能克服布朗力,被限制在势阱中;势能越大,越能稳定捕获纳米颗粒,其中 K_B 为玻尔兹曼常数,T为温度。

5. 根据权利要求3所述的纳米颗粒捕获分选的方法,其特征在于,所述步骤四中通过顺序切换不同激发波长,可以通过寻址热点实现对不同尺寸的纳米颗粒的选择性捕获,利用改变波长从而达到分选颗粒的作用;电场增强图中的热点位置会随着平面光波波长的变化而变化,每种波长下捕获的纳米颗粒尺寸不同,利用平面光波波长依赖性实现纳米颗粒在纳米领结阵列中的分选。

6. 根据权利要求3所述的纳米颗粒捕获分选的方法,其特征在于,所述纳米颗粒分选器件结构处在水的环境中,其水折射率为1.33。

纳米颗粒分选器件结构及用于颗粒捕获分选的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光操纵技术领域,尤其涉及纳米颗粒分选器件结构及用于颗粒捕获分选的方法。

背景技术

[0002] 近年来,越来越多的学者利用光波导、光学谐振腔、光子晶体和表面等离子纳米结构产生的倏逝场增强光力,来实现对纳米颗粒的操控、捕获和输运。这些利用光镊技术作为一种非侵入性无损伤的有效操控颗粒的工具,在细胞生物学和物理化学等方面有着不可替代的作用。其中表面等离子体纳米天线由于在光学、传感、以及其他领域的潜力引起人们足够的重视,表面等离子体本质上是通过局域表面等离子体共振来增强电场。因此,基于倏逝场的表面等离子体操控纳米颗粒技术得到了广泛的研究,例如金属纳米间隙、纳米天线、纳米圆盘、纳米棒、领结。这些方法由于局域化的场增强,可以在低功率下提供强俘获力,捕获的纳米颗粒具有良好的稳定性和高精度。

[0003] 然而,生物医学应用非常需要一种技术,不仅能够稳定地捕获几十纳米的颗粒,而且能够将这些颗粒进行分类。在这方面,金属纳米颗粒使用消逝波、热流体动力表面等离子体共振进行分离。Eric Laux等人利用光谱和偏振度实现对颗粒的分选。Ploschner等人使用两束波长不同,传播方向相反的倏逝波实现对直径为150nm和100nm的纳米颗粒的分选,Xiaofu Xu等人利用多级光波导展示了临界粒径为600nm、700nm和800nm的四级分选。然而,这些方法都很难实现对粒径小于100nm颗粒的分选。领结纳米天线的三角形几何结构由于有更高的局域场增强和空间约束力,它能够实现对更小颗粒的捕获和操控。在过去的几年里,BinWang等人研究了场增强、共振波长与领结纳米天线几何参数的关系,包括间隙尺寸、天线大小等的关系。Kaspar D.Ko等人证明了周期阵列天线领结结构可以使间隙区域的局部场增强增强 10^3 倍。然而,很少有人研究利用空心领结结构产生的共振频率,实现对颗粒的分选。

发明内容

[0004] 本发明旨在一定程度上解决上述存在的技术问题,提供一种颗粒捕获分选的方法,能够实现对捕获物质的无损伤操控,可以稳定捕获纳米颗粒,并且可以利用纳米领结阵列和纳米颗粒的共振频率分离良好来实现对颗粒的分选。

[0005] 一方面,本发明为解决其技术问题提供了一种纳米颗粒分选器件结构,包括二氧化硅基底、纳米领结阵列及平面光波及纳米颗粒,所述二氧化硅基底作为纳米领结阵列的基底,用于吸收激光光场中产生的焦耳热;所述纳米领结阵列设于二氧化硅基底上,用于与激光作用形成局域电场,对纳米颗粒进行捕获和分选;所述平面光波,用于提供光源并与纳米领结阵列作用产生消逝场;所述纳米颗粒,作为被捕获和分选的对象;

[0006] 所述纳米领结阵列包括三对金领结结构,且该三对金领结结构在每一个周期结构不相同,三对所述金领结结构中挖空有两个等边三角形,被挖空的等边三角形的顶角与外

三角形的顶角方向相反,被挖空的等边三角形顶点到外三角形边的距离可以为30nm、5nm、2nm。

[0007] 优选的,所述平面光波的入射方向垂直纳米领结阵列以及二氧化硅基底的方向设置。

[0008] 另一方面,本发明提供了一种纳米颗粒捕获分选的方法,包括所述的纳米颗粒分选器件结构,其具体步骤如下:

[0009] 步骤一、先将纳米颗粒分选器件结构进行建模,确定三维分解的方向;再计算纳米颗粒分选器件结构在X方向线性偏振的平面光波照射下在纵向切面以及横向切面的电场增强图;

[0010] 步骤二、确定纳米颗粒分选器件结构的尺寸;

[0011] 步骤三、定量分析纳米颗粒分选器件结构捕获纳米颗粒的能力;先利用麦克斯韦张量法或者体积法计算线偏振光下光合力在三维方向的分解,即(x,y,z)三个方向上进行三个光分力 F_x 、 F_y 、 F_z 的分解,分析三个光分力在纳米领结阵列上方处所受到的光力,得到颗粒的有效捕获范围;

[0012] 步骤四、根据不同纳米颗粒的共振波长选择三种对应的波长,并调整光场强度,在使用不同光波长条件下,利用纳米颗粒分选器件结构分选出不同尺寸的纳米颗粒;

[0013] 步骤五、计算平面光波下纳米颗粒分选器结构件捕获纳米颗粒的捕获和分选能力;

[0014] 步骤六、计算纳米颗粒分选器件结构捕获纳米颗粒的分选能力随激光强度的变化。

[0015] 优选的,所述步骤三中定量分析纳米领结阵列捕获纳米颗粒的捕获势能;以势能的最后值为能量参考点,将力沿着所需方向一维积分得到势能,当势能大于 $1K_B T$,颗粒就能克服布朗力,被限制在势阱中;势能越大,越能稳定捕获纳米颗粒,其中 K_B 为玻尔兹曼常数,T为温度。

[0016] 优选的,所述步骤四中通过顺序切换不同激发波长,可以通过寻址热点实现对不同尺寸的纳米颗粒的选择性捕获,利用改变波长从而达到分选颗粒的作用;电场增强图中的热点位置会随着平面光波波长的变化而变化,每种波长下捕获的纳米颗粒尺寸不同,利用平面光波波长依赖性实现纳米颗粒在纳米领结阵列中的分选。

[0017] 优选的,所述纳米颗粒分选器件结构处在水的环境中,其水折射率为1.33。

[0018] 本申请实施例提供的上述技术方案与现有技术相比具有如下优点:

[0019] 本发明提出了一种基于阵列领结天线的共振分离特性来实现对颗粒分选的方法,其利用不同金领结结构与纳米颗粒的共振频率匹配,且频率响应的差异性明显,实现对纳米颗粒的捕获和分选;

[0020] 具体的将具有编码为在特定波长下具有共振的金领结依次排列,他们可以产生空间可寻址的热点,这些热点起着光阱的作用,可通过其共振波长分别寻址,因此,通过依次激活相邻的陷阱,纳米领结阵列可以实现对颗粒的分选功能;

[0021] 同时三个可分别寻址的陷阱的线性重复结构形成“纳米分选器”,利用三维时域有限差分法和麦克斯韦应力张量法分析了该设计的可行性。模拟结果表明,在局域等离子体共振的帮助下,该设计方法能够实现对三种不同尺寸纳米颗粒的捕获和分选,本发明与传

统的颗粒分选方法相比,具有更高的分选精度,该方法为光学分选器件及大规模实现片上实验室集成中的应用提供了新的设计方法。

附图说明

[0022] 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分,示出了符合本发明的实施例,并与说明书一起用于解释本发明的原理。

[0023] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,对于本领域普通技术人员而言,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0024] 附图中:

[0025] 图1是本发明纳米领结阵列捕获和分选纳米颗粒示意图;

[0026] 图2是本发明沿x轴偏振的平面光波垂直入射纳米颗粒分选器件结构中电场在x-y平面的局部分布图;

[0027] 图3是本发明沿x轴偏振的平面光波垂直入射纳米颗粒分选器件结构中电场在x-z平面的局部分布图;

[0028] 图4是本发明在不同波长下的电场强度与间隙g的关系图;

[0029] 图5是本发明在不同波长的纳米领结的电场强度随空三角形顶点到外三角形边的距离t变化的关系图;

[0030] 图6是本发明平面光波在不同波长照射纳米领结阵列条件下电场在x-y平面的分布图;

[0031] 图7是本发明在不同平面光波波长下纳米双锥在y方向的光力图;

[0032] 图8是本发明在不同平面光波波长下纳米双锥在y方向的势能图。

具体实施方式

[0033] 为了对本发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对照附图详细说明本发明的具体实施方式。以下描述中,需要理解的是,“前”、“后”、“上”、“下”、“左”、“右”、“纵”、“横”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“头”、“尾”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系、以特定的方位构造和操作,仅是为了便于描述本技术方案,而不是指示所指的装置或元件必须具有特定的方位,因此不能理解为对本发明的限制。

[0034] 还需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,“安装”、“相连”、“连接”、“固定”、“设置”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。当一个元件被称为在另一元件“上”或“下”时,该元件能够“直接地”或“间接地”位于另一元件之上,或者也可能存在一个或多个居间元件。术语“第一”、“第二”、“第三”等仅是为了便于描述本技术方案,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量,由此,限定有“第一”、“第二”、“第三”等的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0035] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具

体细节,以便透彻理解本发明实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0036] 一方面,本发明为解决其技术问题提供了一种纳米颗粒分选器件结构,如图1所示,包括二氧化硅基底、纳米领结阵列及平面光波及纳米颗粒,所述二氧化硅基底作为纳米领结阵列的基底,用于吸收激光光场中产生的焦耳热,激光通过纳米领结阵列后会形成光场的重新分布,尤其在局域增强的部分,由于光场强度较大,导致局部产生焦耳热;

[0037] 所述纳米领结阵列设于二氧化硅基底上,用于与激光作用形成局域电场,对纳米颗粒进行捕获和分选,具体的,部分结构(空三角形顶点到外三角形边的距离为2nm)的局域电场如图2-3所示,如果没有纳米领结阵列,光场是均匀分布的,因为有此纳米结构,在领结之间形成局域电场增强;

[0038] 所述平面光波,用于提供光源并与纳米领结阵列作用产生消逝场;所述纳米颗粒,作为被捕获和分选的对象

[0039] 在本实施例中,所述纳米领结阵列包括三对金领结结构,且该三对金领结结构在每一个周期结构不相同,三对所述金领结结构中有两个尺寸相同的等边三角形;其中,三对所述金领结结构形成的等边三角形其边长为103.9nm,厚度为40nm,且相邻的两金领结结构之间的距离和领结间隙均为10nm。

[0040] 值得说明的是,每个领结内部挖空的等边三角形尺寸不同,为了区分这些有间隙的领结,我们用空三角形顶点到外三角形边的距离大小来区分他们,其距离分别为30nm, 5nm, 2nm。

[0041] 在本实施例中,所述平面光波的入射方向垂直金纳米领结阵列以及二氧化硅基底的方向设置,所述平面光波的光波长分别为790nm, 1020nm, 1170nm, 光波强度分别为 $33.33\text{mW}/\mu\text{m}^2$, $1.25\text{mW}/\mu\text{m}^2$, $1.67\text{mW}/\mu\text{m}^2$ 。

[0042] 本发明通过改变激光波长大小的方法来实现纳米领结阵列中纳米颗粒的捕获与分选:改变纳米颗粒分选器件结构的电场分布,从而改变纳米颗粒在纳米领结阵列中的光力和势能;具体的,通过改变激光波长的方法来改变纳米领结阵列纳米颗粒的捕获与分选,包括以下两个过程:

[0043] 线性平面光波捕获纳米颗粒:用与纳米领结阵列的主轴平行的线性平面光波进行纳米颗粒捕获研究。具体而言:采用麦克斯韦张量法或者体积法进行计算光力,以势能的最后值为能量参考点,将力沿着所需方向一维积分得到势能。用于定量分析纳米颗粒被捕获的颗粒尺寸以及捕获位置;

[0044] 改变激光波长大小分选纳米颗粒法:采用顺序切换平面光波进行分选纳米颗粒。在纳米颗粒分选器件结构中同时形成多个可寻址的热点,用多个热点同时捕获和分选多个同种颗粒。

[0045] 另一方面,本发明提供了一种纳米颗粒捕获分选的方法,包括所述的纳米颗粒分选器件结构,其具体步骤如下:

[0046] 步骤一、先将纳米颗粒分选器件结构进行建模,确定三维分解的方向;再计算纳米颗粒分选器件结构在X方向线性偏振的平面光波照射下在纵向切面以及横向切面的电场增强图;得到电场增强图中场增强最强的区域在领结与平面光波线性偏振平行的间隔处;

[0047] 值得说明的是线性偏振光与纳米领结阵列的主轴平行;在此领结间隙之间出现明显的局域场增强如图2-3所示。

[0048] 步骤二、确定纳米颗粒分选器件结构的尺寸,

[0049] 不断改变纳米领结阵列参数,优化纳米颗粒分选器件结构参数,得到最佳结构。固定金领结结构的边长和高,在不同波长下改变间隔宽度以及空三角形顶点到外三角形边的距离。找出结构中合适间隔宽度的最佳金领结结构尺寸,最佳结构尺寸即电场增强较大且共振频率分离良好时的结构尺寸。确定合适捕获间隔为10nm,空三角形顶点到外三角形边的距离分别为30nm,5nm,2nm,由于相邻领结对之间的耦合作用,共振波长发生10-60nm的波长移动,最后得到纳米领结阵列下对应结构的波长分别为790nm,1020nm,1170nm。

[0050] 纳米领结阵列参数指:三角形的边长、高度、空三角形顶点到外三角形边的距离、领结对之间的距离以及领结间隙;因为不同领结阵列对应的响应波长不同,可以根据使用激光器的不同,进一步优化结构,选用790nm,1020nm,1170nm的红外激光器,这个结构在此三种波长下工作情况好;

[0051] 确定合适的捕获间隔间隙和空三角形顶点到外三角形边的距离通过仿真计算得到,考虑不同结构对应的场增强倍数、最佳波长,光波长、强度需要与结构一起调整;

[0052] 在本实施例中根据不同入射波长下的场强强度,以优化纳米领结阵列的参数。研究表明,与 $g=35\text{nm}$ 相比, $g=10\text{nm}$ 的场强可达到3.2倍,间隙越小,电场限制越强,场强越大,而间隙对共振波长的影响不大,本发明选择间隙尺寸为10nm。经分析单个领结天线的分离谐振频率,发现在亚波长分离范围内,不同的空心纳米天线可以单独激发,且串扰较小。如图5所示,不同波长下领结的电场强度随 t 变化不大,但随着 t 的减小,当 t 从30nm到2nm时,谐振波长从800nm增加到1200nm。在这项工作中,间隙大小选择为10nm, t 为2nm,5nm,30nm,其共振波长分别为800nm,960nm,1200nm,但是由于相邻领结对之间的耦合作用,共振波长发生10-60nm的波长移动,最后得到纳米领结阵列下对应结构的波长分别为790nm,1020nm,1170nm;

[0053] 步骤三、定量分析纳米颗粒分选器件结构捕获纳米颗粒的能力;先利用麦克斯韦张量法或者体积法计算线偏振光下光合力在三维方向在 (x, y, z) 三个方向上进行三个分力 F_x 、 F_y 、 F_z 的分解,分析三个光分力在纳米领结阵列上方5nm处所受到的光力,得到颗粒的有效俘获范围;

[0054] 步骤四、根据纳米颗粒分选器件结构和纳米颗粒的共振频率匹配,在光波长分别为790nm,1020nm,1170nm,光场强度分别为 $33.33\text{mW}/\mu\text{m}^2$, $1.25\text{mW}/\mu\text{m}^2$, $1.67\text{mW}/\mu\text{m}^2$ 的条件下,利用纳米颗粒分选器件结构分选出不同尺寸的纳米颗粒。本实施例中的分选对象为金纳米双锥颗粒,尺寸分别为短径10nm、长径30nm,短径30nm、长径180nm,短径30nm、长径190nm;

[0055] 步骤五、如图7-8所示,计算平面光波下纳米颗粒分选器件结构捕获金纳米双锥颗粒的光力和势能;通过电场增强图发现纳米领结阵列在同一个波长条件下可以形成多个热点位置,能够同时捕获和分选多个同种纳米颗粒;

[0056] 步骤六、计算纳米颗粒分选器件结构捕获纳米颗粒的分选能力随激光强度的变化,激光强度越大,纳米颗粒在纳米颗粒分选器件结构中受到的光力越大,势能也越大。

[0057] 在本实施例中,所述步骤三中定量分析纳米颗粒分选器件结构捕获金纳米双锥颗粒的捕获势能;以势能的最后值为能量参考点,将力沿着所需方向一维积分得到势能,当势

能大于 $1K_B T$, 颗粒就能克服布朗力, 被限制在势阱中; 势能越大, 越能稳定捕获纳米颗粒, 其中 K_B 为玻尔兹曼常数, T 为温度。

[0058] 在本实施例中, 所述步骤四中通过顺序切换790nm, 1020nm, 1170nm激发波长, 可以通过寻址热点实现对不同尺寸的纳米颗粒的选择性捕获, 利用改变波长从而达到分选颗粒的作用; 如图6所示, 电场增强图中的热点位置会随着平面光波波长的变化而变化, 每种波长下捕获的纳米颗粒尺寸不同, 利用平面光波波长依赖性实现金纳米双锥颗粒在纳米颗粒分选器件结构中的分选。

[0059] 在本实施例中, 所述纳米颗粒分选器件结构处在环境水中, 其水折射率为1.33。

[0060] 本发明提出了一种基于阵列领结天线的共振分离特性来实现对颗粒分选的方法, 其利用不同金领结结构与纳米颗粒的共振频率匹配, 且频率响应的差异性明显, 实现对纳米颗粒的捕获和分选;

[0061] 具体的将具有编码为在特定波长下具有共振的金领结依次排列, 他们可以产生空间可寻址的热点, 这些热点起着光阱的作用, 可通过其共振波长分别寻址, 因此, 通过依次激活相邻的陷阱, 纳米领结阵列可以实现对颗粒的分选功能;

[0062] 同时三个可分别寻址的陷阱的线性重复结构形成“纳米分选器”, 利用三维时域有限差分法和麦克斯韦应力张量法分析了该设计的可行性。模拟结果表明, 在局域等离子体共振的帮助下, 该设计方法能够实现对三种不同尺寸纳米双锥颗粒的捕获和分选, 本发明与传统的颗粒分选方法相比, 具有更高的分选精度, 该方法为光学分选器件及大规模实现片上实验室集成中的应用提供了新的设计方法。

[0063] 可以理解的, 以上实施例仅表达了本发明的优选实施方式, 其描述较为具体和详细, 但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制; 应当指出的是, 对于本领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明构思的前提下, 可以对上述技术特点进行自由组合, 还可以做出若干变形和改进, 这些都属于本发明的保护范围; 因此, 凡跟本发明权利要求范围所做的等同变换与修饰, 均应属于本发明权利要求的涵盖范围。

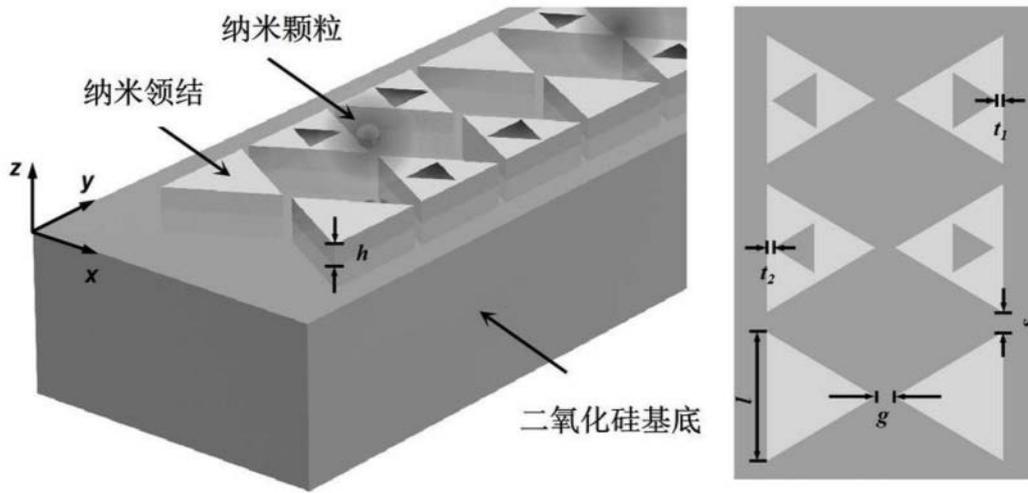


图1

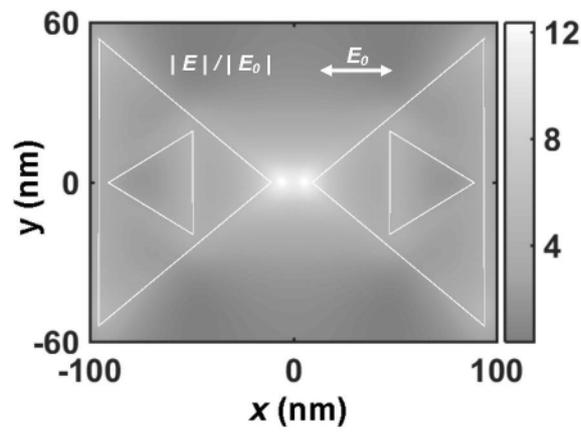


图2

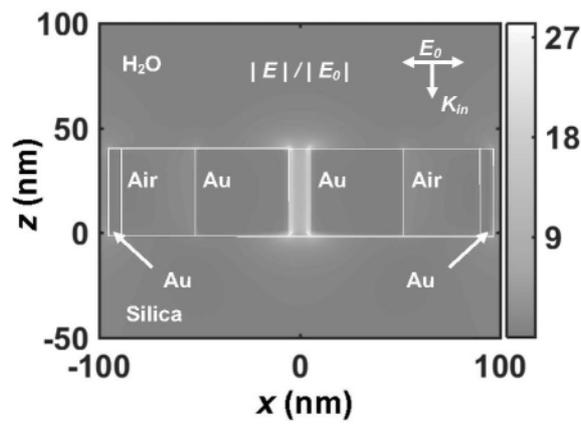


图3

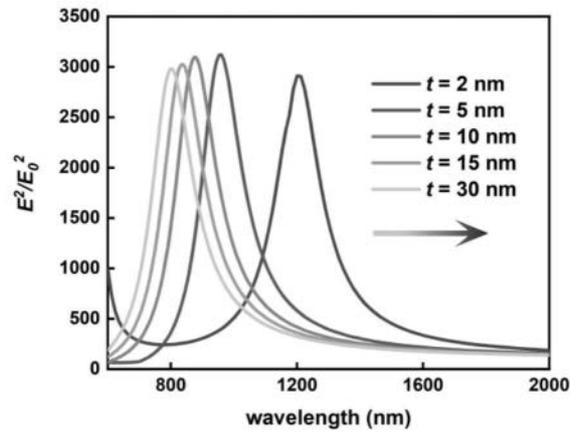


图4

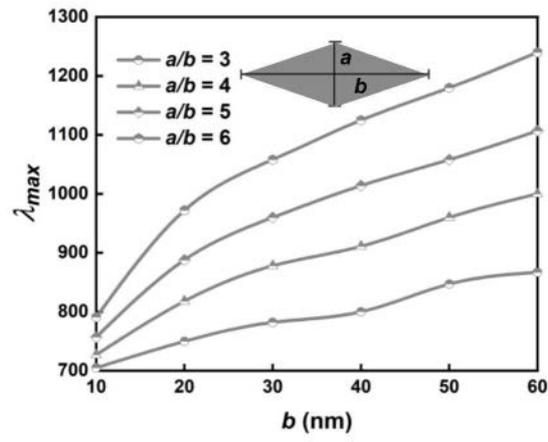


图5

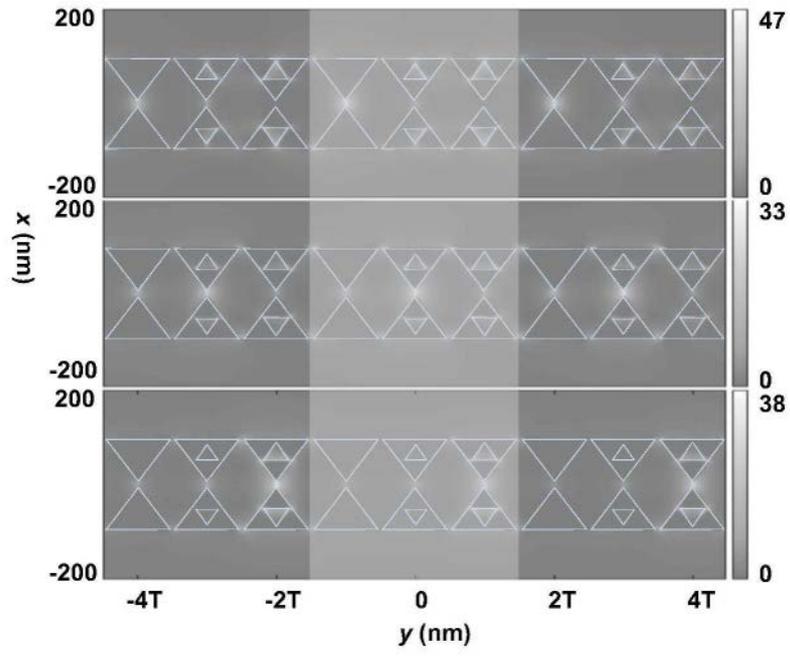


图6

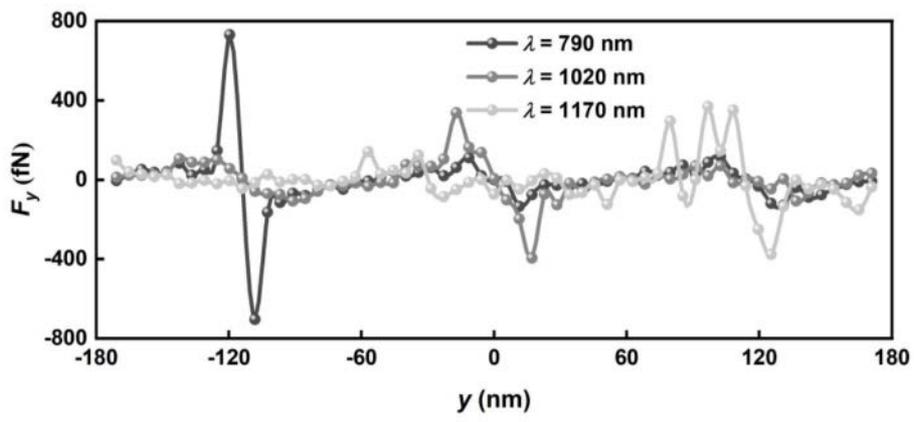


图7

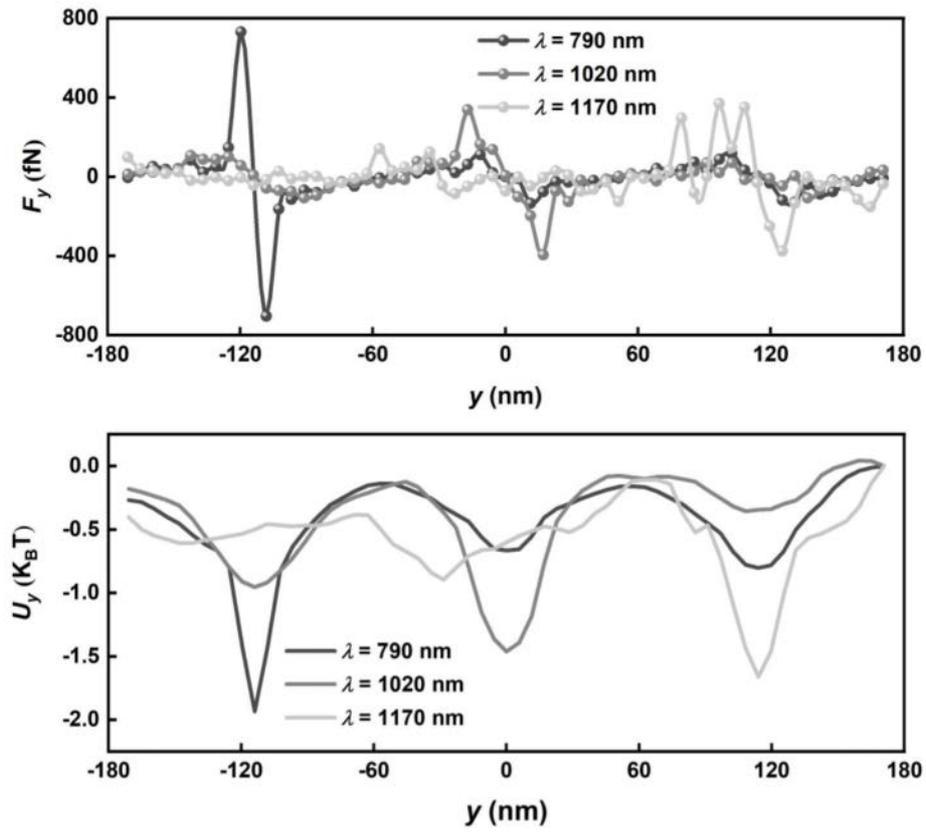


图8