

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00119006.7

[43] 公开日 2001 年 3 月 21 日

[11] 公开号 CN 1288275A

[22] 申请日 2000.10.11 [21] 申请号 00119006.7
 [71] 申请人 南京大学
 地址 210093 江苏省南京市汉口路 22 号
 [72] 发明人 朱永元 祝世宁 秦亦强 刘照伟
 刘 辉 王惠田 何京良 闵乃本

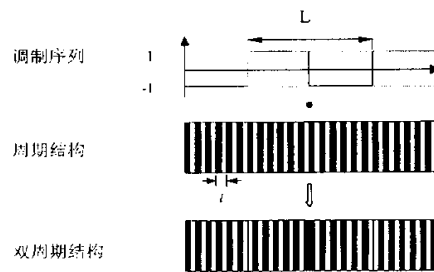
[74] 专利代理机构 南京大学专利事务所
 代理人 陈建和

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图页数 3 页

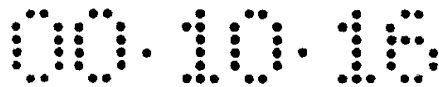
[54] 发明名称 双周期超晶格及其在激光变频中的应用

[57] 摘要

本发明涉及双周期超晶格及其在激光变频中的应用,这种超晶格以铁电晶体为基质,通过一种特定双调制结构的设置,能够同时提供用来匹配倍频和和频波矢失配的二个倒格矢,从而使三倍频能够持续的增长,从而实现高效三倍频,或实现倍频、三倍频的同时输出。具有这种结构的钽酸钾(LiTaO₃)超晶格可用于对 Nd:YVO₄ 和 Nd:YAG 激光器的 1064 纳米激光实行三倍频,输出 355 纳米的紫外激光。



ISSN 1008-4274



权利要求书

1、双周期结构的超晶格材料，其特征是用铁电晶体材料 LiTaO_3 、 LiNbO_3 、KTP 通过室温极化或条纹生长法来制备，或结合波导工艺制备成具有如下结构参数的材料：用 $G_{m,n}$ 来表示这种双周期结构的主要倒格矢， m, n 是整数：

$$G_{m,n} = \frac{2\pi m}{l} + \frac{2\pi n}{L}$$

$\Delta k_1, \Delta k_2$ 分别代表倍频及和频过程中的波矢失配，如果我们选择双周期结构中的 $G_{m,n}$ 和 $G_{m',n'}$ 分别来补偿这两个波矢失配，则有：

$$G_{m,n} - \Delta k_1 = \frac{2\pi m}{l} + \frac{2\pi n}{L} - \Delta k_1 = 0$$

由 $G_{m,n}$ 和 $G_{m',n'}$ 分别来补偿这

$$G_{m',n'} - \Delta k_2 = \frac{2\pi m'}{l} + \frac{2\pi n'}{L} - \Delta k_2 = 0$$

两个波矢失配，由以上公式我们可求出双周期的主要结构参数 l 和 L 的表达式：

$$l = \frac{2\pi(mn' - m'n)}{\Delta k_1 n' - \Delta k_2 n}$$

$$L = \frac{2\pi(nm' - n'm)}{\Delta k_1 m' - \Delta k_2 m}$$

其中的 $\Delta k_1, \Delta k_2$ 又可表示为：

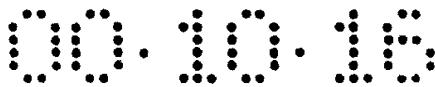
$$\Delta k_1 = \frac{4\pi}{\lambda} (n_2 - n_1)$$

$$\Delta k_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (3n_3 - 2n_2 - n_1)$$

上式中的 n_1, n_2, n_3 分别是超晶格晶体在基波，二倍频，三倍频时的折射率。

2、由权利要求 1 所述的双周期结构的超晶格材料，其特征是一组用来匹配倍频失配和和频失配的两个倒格矢可作灵活选择，可选择 $G_{1,-1}, G_{3,1}$ 或者 $G_{1,-1}, G_{3,-1}$ 或者 $G_{1,-3}, G_{3,-1}$ ，得到不同的双周期结构，对应于不同的基波波长。

3、双周期超晶格在激光变频中的应用，其特征是利用一块双调制或双周期结构的 LT、LN 或 KPT 超晶格作为激光变频介质，尤其是三倍频介质，这种双调制结构的参数如权利要求 1-3 所示。



说明书

双周期超晶格及其在激光变频中的应用

本发明涉及一种双调制结构超晶格设置，以及这种双周期超晶格在激光变频中的应用，这种超晶格具有直接三倍频的功能。

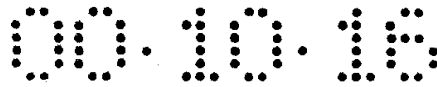
祝世宁等人 1997 年在 Science 上发表了“用准周期 Fibonacci 光学超晶格 (QPOS) 实现绿光三倍频”的文章，利用准周期 Fibonacci 序列的 LiTaO_3 超晶格，三倍频 1570nm 的 Nd:YAG 激光，产生 523nm 的绿光。QPOS 中的基本参数 $l=10.7\mu\text{m}$ ， $A=24\mu\text{m}$ ， $B=17.5\mu\text{m}$ 。样品总长度为 8mm，厚度为 0.5mm。1570nm 红外光单次通过 QPOS 三倍频，产生绿光功率达 6mW，转换效率为 23%。

J.P.Meyn 和 M.M.Fejer 在 1997 年的 Opt.Lett 上发表了“利用周期极化的钽酸锂通过二倍频获得紫外输出”的文章。钽酸锂超晶格的周期为 2.625 微米，获得的紫外激光的波长是 325 纳米，其有效非线性系数为 2.6pm/V，是理论值的 55%。

A.Arie 等人在 Optics Communications 上发表了“用周期极化的 KTP 准位相匹配产生倍频绿光和紫外光”的文章，他们利用一块周期为 8.98 微米的 KTP 超晶格实现了对 783.5 纳米激光的倍频紫外输出。1 厘米长的超晶格晶体，泵浦光为 259mW 时，可得到 75.3 μW 的紫外激光，转换效率约为 0.12%/W。

以上三篇文章分别介绍了用准周期光学超晶格实现绿光三倍频和用周期光学超晶格实现激光紫外倍频。在第一篇文章中，使用的是标准的 Fibonacci 的准周期超晶格。第二篇文章和第三篇文章分别是用周期超晶格对 650 纳米和 783.5 纳米光源倍频实现紫外激光输出。所有上述方案均不涉及双调制结构超晶格和利用该结构的超晶格实现激光三倍频，不涉及对 1064 纳米激光进行直接三倍频获得 355 纳米紫外激光。

本发明的目的在于寻找一种新型的光学超晶格设置结构——双调制结构，该结构能实现多波长激光倍频和对任何波长的激光三倍频。从而提供一种光学超晶格晶体作为三倍频频率转换器件，构成一种高效率的小型全固态的能够输出绿光、蓝光、紫光或近紫外的激光器。特别是采用一块双周期结构的 LiTaO_3



超晶格对 Nd:YVO₄ 和 Nd:YAG 激光器 1064 纳米输出直接三倍频, 获得 355 纳米的紫外激光输出。

本发明的目的是这样实现的: 利用一块双调制(双周期或周期 — 准周期)结构的钽酸锂(或其他非线性光学材料)超晶格作为激光变频介质, 其特征在于: 这种双调制结构能够同时提供用来匹配倍频和和频波矢失配的二个倒格矢, 从而使三倍频能够持续的增长, 实现高效的三倍频输出。由于该结构的倒格矢的位置和大小可通过对结构参数设置进行调节, 从而可以实现任意波段尤其是蓝光、近紫外和紫外的激光高效三倍频。

现以双周期超晶格为例说明这种双调制结构超晶格的设置过程:

基本思路是对于任意的基波波长, 选取其周期结构参数使该结构中倍频过程及和频过程产生的波矢失配大小相等。在这种情况下, 二次谐波输出是等振幅或变振幅振荡的, 三次谐波输出是在轻微振荡中增长的。二次谐波三次谐波的强度随周期超晶格晶体长度的关系如图 3 所示。这样, 以二次谐波输出的振荡周期为新的周期对原周期结构进行再次调制。其结果是二次谐波得到持续增长, 导致三次谐波光也能够高效输出。基波、倍频和三倍频的强度随双周期超晶格晶体长度的关系如图 4 所示 (周期—准周期超晶格的设置思想与方法同)。图 1 和图 2 是其中一种双周期设置方案的模板和频谱。

在图 1 中我们看到, 双周期的主要参数是小的周期结构的周期 l 和大的调制周期结构的周期 L 。如果这两个参数确定了, 双周期结构基本上就确定了。下面我们看看如何通过设置的要求来导出这两个基本参数。

图 2 是双周期结构的典型频谱图。我们用 $G_{m,n}$ 来表示这种双周期结构的主要倒格矢, m, n 是整数。

$$G_{m,n} = \frac{2\pi m}{l} + \frac{2\pi n}{L} \dots\dots\dots (1)$$

$\Delta k_1, \Delta k_2$ 分别代表倍频及和频过程中的波矢失配, 如果我们选择双周期结构中的 $G_{m,n}$ 和 $G_{m',n'}$ 分别来补偿这两个波矢失配, 则有:

$$G_{m,n} - \Delta k_1 = \frac{2\pi m}{l} + \frac{2\pi n}{L} - \Delta k_1 = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$$G_{m',n'} - \Delta k_2 = \frac{2\pi m'}{l} + \frac{2\pi n'}{L} - \Delta k_2 = 0$$

由以上公式我们可求出双周期的主要结构参数 l 和 L 的表达式:

$$l = \frac{2\pi(mn' - m'n)}{\Delta k_1 n' - \Delta k_2 n} \dots\dots\dots (3)$$

$$L = \frac{2\pi(nm' - n'm)}{\Delta k_1 m' - \Delta k_2 m}$$

其中的 $\Delta k_1, \Delta k_2$ 又可表示为:

$$\Delta k_1 = \frac{4\pi}{\lambda}(n_2 - n_1) \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta k_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(3n_3 - 2n_2 - n_1)$$

(4)式中的 n_1, n_2, n_3 分别是超晶格晶体在基波, 二倍频, 三倍频时的折射率。一般情况下, 选择 $m=1, n=-1, m'=3, n'=1$ (图 1, 图 2 就是这种情况)。如果以最常用的 Nd 激光器的 1064nm 输出为基波, 设置温度为 40°C, 双周期结构的两个基本参数 $l=6.77 \mu\text{m}, L=50.86 \mu\text{m}$ (对 LiTaO₃ 而言)。

在具体的设置中, 一组用来匹配倍频失配和和频失配的两个倒格矢可作灵活选择。可选择 $G_{1,-1}, G_{3,1}$ 或者 $G_{1,-1}, G_{3,-1}$ 或者 $G_{1,-3}, G_{3,-1}$, 不同的选择导致不同的双周期结构, 对应于不同的基波波长。

因为紫外、近紫外光已靠近 LiTaO₃ 晶体的吸收边, 实际三倍频的转换效率要比理论计算的略小。同时, 为了消除光折变效应对转换效率和光斑质量的影响, 设置的匹配温度最好在 100°C~200°C 之间。

这种双周期结构的超晶格可用铁电晶体材料, 如 LiTaO₃, LiNbO₃, KTP 等, 通过室温极化或条纹生长法来制备, 结合波导工艺也可以制备成具有同样频率转换功能的双调制畴结构光波导器件。即 LT、LN 或 KPT 超晶格作为激光变频介质。

在材料设置中需要利用材料折射率的色散公式, 这里给出 LiTaO₃ 单晶的含温度系数的色散公式:

$$n_e^2(\lambda, T) = A + \frac{B + b(T)}{\lambda^2 - [C + c(T)]^2} + \frac{E}{\lambda^2 - F^2} + D\lambda^2$$

其中的参数为:

$$A=4.5284, B=7.2449 \times 10^{-3}, C=0.2453, D=-2.3670 \times 10^{-2},$$

$$E=7.7690 \times 10^{-2}, F=0.1838, b(T)=2.6794 \times 10^{-8}(T+273.15)^2,$$

$$c(T)=1.6234 \times 10^{-8}(T+273.15)^2.$$



对其他材料如 LiNbO_3 , KTP 等请参阅非线性光学材料手册和有关文献。

本发明的特点是：本发明用光学超晶格晶体代替常规使用的非线性光学晶体，用双调制结构光学超晶格代替周期、准周期结构光学超晶格，从而可对任何激光波长实现直接三倍频。由于 LiTaO_3 紫外吸收边在 280 纳米，采用一块双周期结构的 LiTaO_3 超晶格可实现对最普及的 Nd 激光器 1064 纳米输出的直接三倍频，获得 355 纳米的紫外输出。和半导体激光器相结合，可研制成低阈值、高效率、优质光束、结构简单和小型全固态紫外激光器。因而在光谱学，生物医学，生物医药研究，光信息储存及其他领域得将到广泛的应用。

下面结合附图及具体实施方案对本发明作进一步详细说明：

图 1 为本发明的一种双周期设置方案的模板示意图

图 2 是双周期结构的典型频谱图，横座标为倒格矢，纵座标为傅立叶系数值

图 3 所示为二次谐波、三次谐波的强度随周期超晶格晶体长度的关系图。三倍频效率随着晶体横轴的长度增加而增加。以二次谐波输出的振荡周期为新的周期对原周期结构进行再次调制。其结果是二次谐波得到持续增长，导致三次谐波光也能够高效输出。

图 4 为基波、倍频和三倍频的强度随双周期超晶格晶体长度的关系图，其中纵座标表示转换效率，而 FG、SHG、THG 三根曲线分别表示基波、倍频和三倍频的转换效率，横座标为长度。

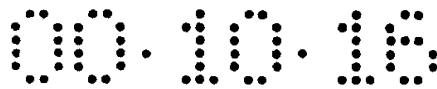
图 5 是本发明的紫外、近紫外激光器的结构示意图。

图 6 是本发明的紫外、近紫外激光器的一种镀膜设置的结构示意图。

图 7 是本发明的紫外、近紫外激光器的一种加腔设置的结构示意图。

图面说明如下：

- 1—LD 激光器，波长为 808nm；
- 2—聚焦系统，一般为透镜组；
- 3—Nd:YVO₄ 晶体，产生 1064nm 激光的激光介质；
- 4—调 Q 装置(如声光装置)；
- 5—1064nm 激光的输出镜(如 T=20%)；
- 6—会聚透镜(如 f=50mm)；
- 7—控温炉，用来调节温度；
- 8—双周期超晶格晶体，产生倍频黄绿光，三倍频紫外、近紫外激光；
- 9—输出的紫外、近紫外激光，或者黄绿，紫外双色激光；



10—多层膜，1064nm 的增透膜，532nm 的高反膜；

11—532nm 的高反膜，355nm 的高透膜；

12—谐振腔镜，为多色镜；

13—输出端腔镜，紫外、近紫外透光

实施例 1

按照图 5 制作一台用一块双周期超晶格组成的腔外三倍频近紫外激光器。1 为 808 纳米的 LD 激光器，最大输出功率为 15W，Nd:YVO₄ 晶体 3 的前表面镀膜，和腔镜 5 一起构成激光的谐振腔，在腔镜 5 后能产生大约 2W 的准连续 1064 纳米的激光。一块大小周期(L, l)分别为 50.86 微米和 6.77 微米的双周期钽酸锂超晶格(放置在控温炉(7)中，调节控温炉到 45.4 摄氏度时，产生波长为 355 纳米的紫外激光(9)。改变光学超晶格(8)的长度可改变输出紫外激光(9)的强度，一般超晶格的长度范围在几个毫米到几个厘米。

实施例 2

按照图 6 制作一台用一块双周期超晶格组成的三倍频近紫外激光器。与图 5 设置方案不同的是，在超晶格的前后两个表面进行镀膜处理。前表面镀 1064 纳米的增透膜，532 纳米的高反膜；后表面镀 532 纳米的高反膜，355 纳米的高透膜。这样在超晶格内部实现倍频 532 纳米激光的谐振，使其达到一定的强度，后表面 532 纳米高反膜的透过率可以调节输出绿光的强度。由于在超晶格内倍频激光强度的提高，三倍频紫外光的效率将明显提高，同时腔镜在不同波段透过率的调节可以实现输出绿光和紫外光的不同配比。

实施例 3，按照图 7 制作一台用一块双周期超晶格组成的加腔三倍频近紫外激光器。将一块大小周期(L, l)分别为 50.86 微米和 6.77 微米的双周期钽酸锂超晶格 8 放置在谐振腔内，反射镜 12 为多色镜，透过 1064nm 的泵浦光而全反 532nm 的倍频光，腔镜 13 透过 355nm 的紫外光，而对 532nm 的透过率可按照需要进行调节。同实施例 2 一样，可同时实现倍频绿光和三倍频紫外的双色输出，它们之间的强度也可由腔镜在不同波段的透过率加以调节，而光束质量又大有改善。

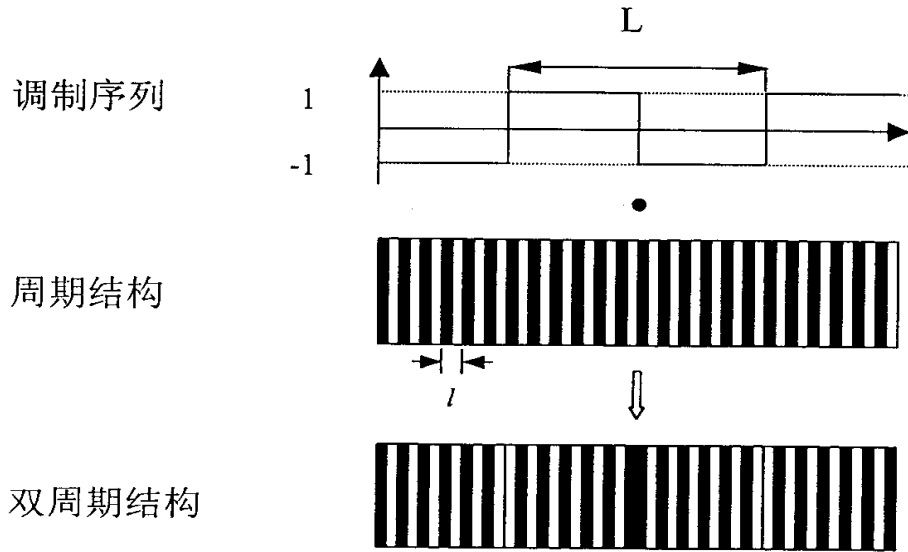


图 1

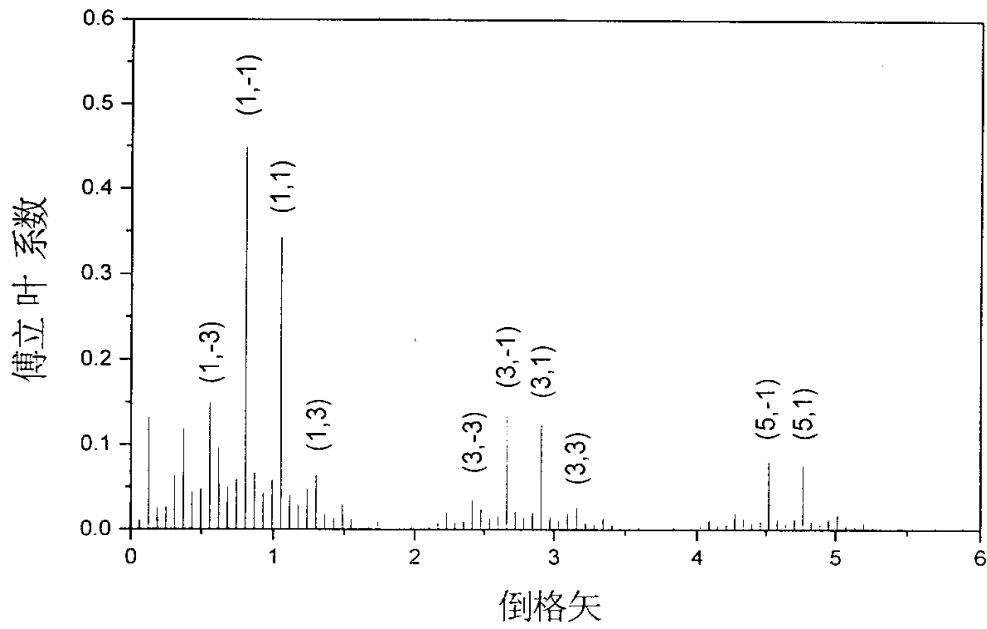


图 2

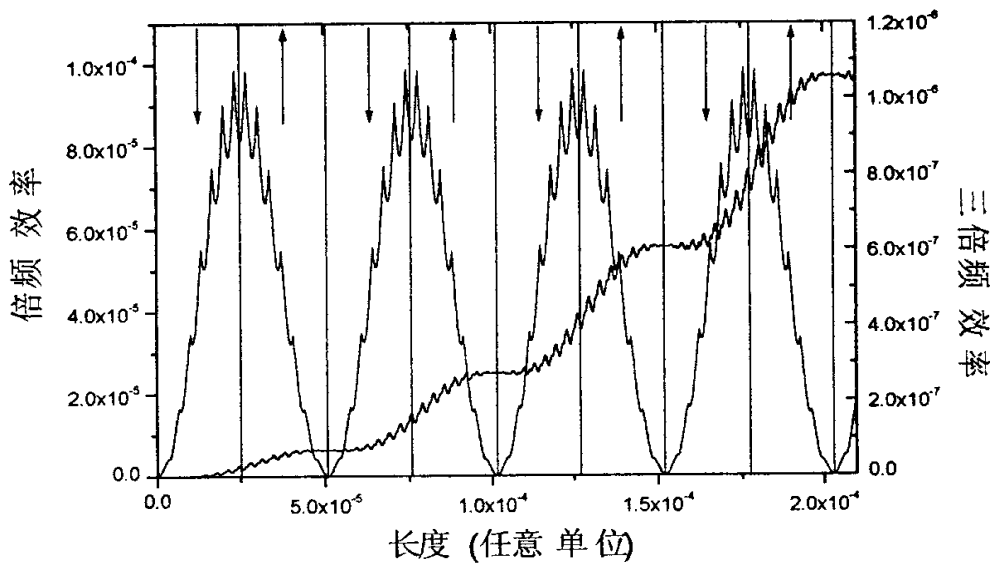


图 3

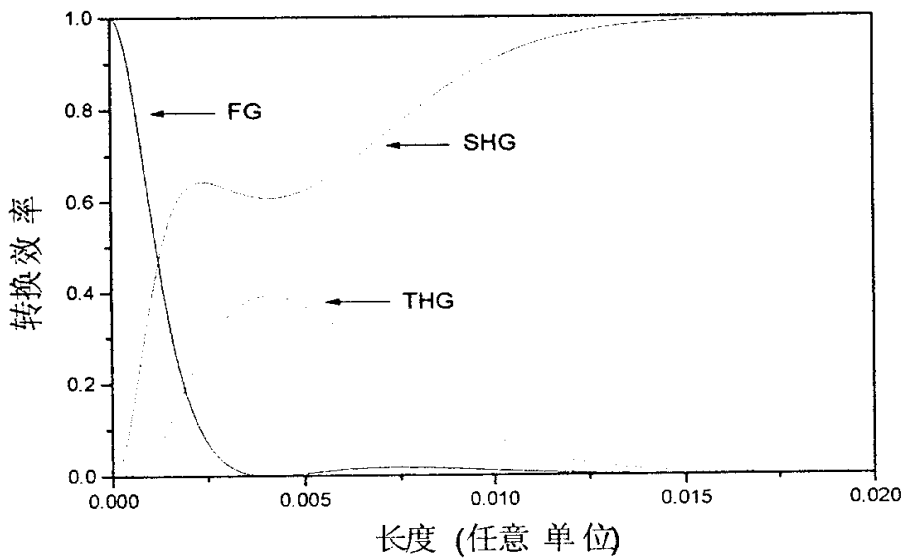


图 4

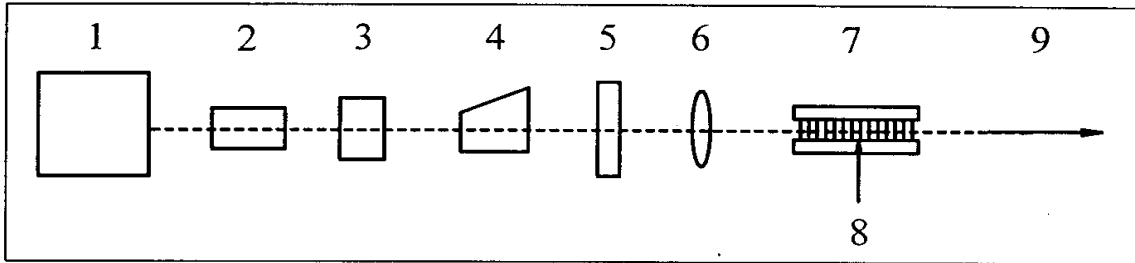


图 5

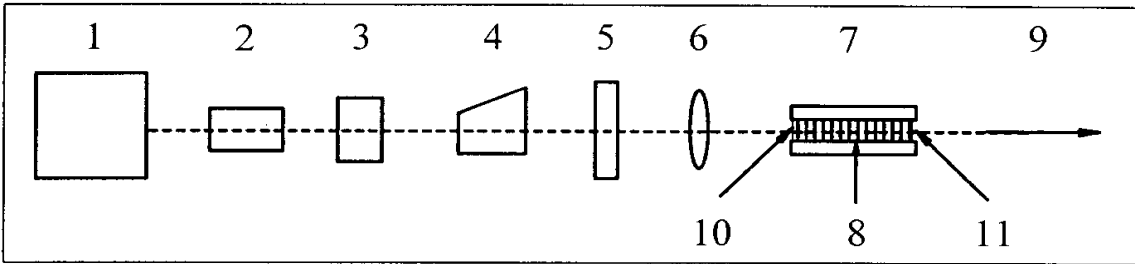


图 6

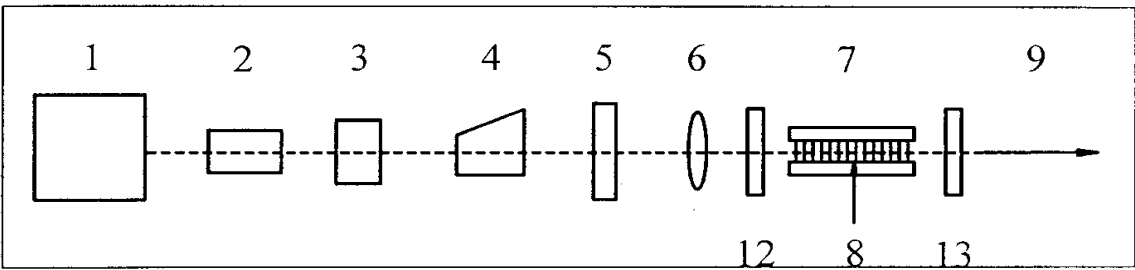


图 7