



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102859706 B

(45)授权公告日 2016.10.26

(21)申请号 201180012910.6

(22)申请日 2011.01.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 102859706 A

(43)申请公布日 2013.01.02

(30)优先权数据

61/293282 2010.01.08 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2012.09.07

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/020001 2011.01.01

(87)PCT国际申请的公布数据

W02011/084903 EN 2011.07.14

(73)专利权人 TRI 阿尔法能源公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 T.塔吉马 M.宾德鲍尔

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 张懿 王忠忠

(51)Int.Cl.

H01L 31/00(2006.01)

(56)对比文件

US 4178524 A, 1979.12.11, 说明书第1栏第50行至第3栏第54行、附图1-2.

US 4178524 A, 1979.12.11, 说明书第1栏第50行至第3栏第54行、附图1-2.

US 2847585 A, 1958.08.12, 说明书第3栏第44-65行、附图1.

CN 1305636 A, 2001.07.25, 全文.

CN 101042945 A, 2007.09.26, 全文.

CN 1373907 A, 2002.10.09, 全文.

US 3591860 A, 1971.07.06, 全文.

US 2009/0110591 A1, 2009.04.30, 全文.

US 3821556 A, 1974.06.28, 全文.

审查员 孙大伟

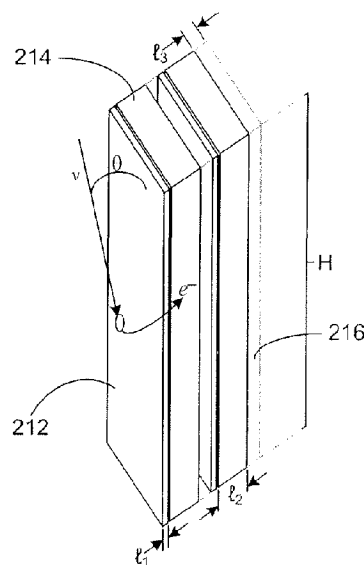
权利要求书5页 说明书8页 附图7页

(54)发明名称

高能光子向电力的转换

(57)摘要

本发明提供了用于将高能光子的能量转换成电力的系统和方法,所述系统和方法采用带有不同原子电荷的一系列材料,以利用通过单个高能光子经一连串俄歇电子发射的大量电子发射。在一个实施例中,高能光子转换器优选地包括由夹在第二材料的层之间的第一材料的层构成的线性分层纳米级晶圆,其中所述第二材料的原子电荷数不同于所述第一材料的原子电荷数。在其他实施例中,纳米级的层以管状或壳状构型被构造和/或包括第三绝缘材料的层。



1. 一种用于将高能光子发射转换成电能的高能光子能量转换器,其包括:

第一材料层,其吸收高能光子并且发射通过在所述第一材料层中被吸收的高能光子而从所述第一材料层中的原子射出的电子,所述第一层的厚度小于射出的电子在所述第一材料层中的平均自由程的长度,其中所述高能光子处于不可见状态;以及

第二材料层,其收集从所述第一材料层发射的电子并且与所述第一材料层电耦合,所述第二材料层的厚度大于从所述第一材料层发射的电子在所述第二材料层中的平均自由程的长度;

其中所述第一材料层和所述第二材料层形成转换器元件,其中所述转换器元件是横向地可层叠邻近于其他转换器元件,其中在所述转换器元件中沿高能光子的传播方向所测得的、第一材料层的总厚度大于所述高能光子在所述第一材料中的平均自由程的长度。

2. 根据权利要求1所述的转换器,其还包括与所述第二材料层耦合的第三材料层,所述第三材料层包括绝缘材料。

3. 根据权利要求1所述的转换器,其中所述第一和第二层面对面地层叠。

4. 根据权利要求1所述的转换器,其中所述第一材料层被构造成圆柱形芯体,而所述第二材料层被构造成围绕所述圆柱形芯体设置的圆柱形壳体,其中所述圆柱形芯体的半径小于射出的电子在所述第一材料中的平均自由程的长度的1/2。

5. 根据权利要求4所述的转换器,其还包括第三绝缘材料层,所述第三绝缘材料层被构造成围绕所述第二材料层的圆柱形壳体设置的圆柱形壳体。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的转换器,其中所述第一材料层包括高原子电荷数成分。

7. 根据权利要求6所述的转换器,其中所述高原子电荷数成分是耐火的金属或金属氧化物。

8. 根据权利要求6所述的转换器,其中所述高原子电荷数成分是钨。

9. 根据权利要求1至5和7至8中任一项所述的转换器,其中所述第二材料层的原子电荷数不同于所述第一材料层的原子电荷数。

10. 根据权利要求1至5和7至8中任一项所述的转换器,其中所述第二材料层的原子电荷数低于所述第一材料层的原子电荷数。

11. 根据权利要求1至5和7至8中任一项所述的转换器,其中所述第二材料层是金属。

12. 根据权利要求11所述的转换器,其中所述金属是铝。

13. 根据权利要求2或5所述的转换器,其中所述第三材料层是SiO₂。

14. 根据权利要求1所述的转换器,其中所述第一材料层夹在所述第二材料层与第三材料层之间,所述第三材料层包括与所述第二材料层相同的材料。

15. 根据权利要求1至5、7至8、12和14中任一项所述的转换器,其中可被所述第一材料层吸收的高能光子的能量在100 eV或更大的范围内。

16. 根据权利要求1至5、7至8、12和14中任一项所述的转换器,其中可被所述第一材料层吸收的高能光子包括X、XUV或伽马射线。

17. 根据权利要求1至5、7至8、12和14中任一项所述的转换器,其中所述第一和第二材料层与具有负载的电路耦合。

18. 根据权利要求17所述的转换器,其中所述负载是电可驱动的部件、电力存储系统或

电网。

19. 根据权利要求1至5、7至8、12、14和17中任一项所述的转换器,其中所述第一和第二材料层可与拦截从光子通量源发射的光子通量并且与其传播方向大体上垂直的表面耦合,并且其中所述第一和第二层中的每个层均与所述光子通量的传播方向成掠射角定向。

20. 一种用于将高能光子发射转换成电能的能量转换器,其包括:

第一材料的第一多个层,其吸收高能光子并且发射通过在所述第一材料中被吸收的高能光子而从所述第一材料中的原子射出的电子,所述第一多个层中的每个层的厚度小于射出的电子在所述第一材料中的平均自由程的长度,其中所述高能光子处于不可见状态,并且其中沿高能光子的传播方向所测得的、所述第一材料的第一多个层的总厚度大于所述高能光子在所述第一材料中的平均自由程的长度;以及

第二材料的第二多个层,其收集从所述第一材料的第一多个层发射的电子并且与所述第一材料的第一多个层电耦合,所述第二材料的第二多个层中的每个层的厚度大于从所述第一材料的第一多个层发射的电子在所述第二材料中的平均自由程的长度,其中所述第二材料的第二多个层中的一个或多个层介于所述第一材料的第一多个层中的相邻层之间。

21. 根据权利要求20所述的转换器,其还包括第三材料的第三多个层,所述第三多个层中的每个层介于所述第二材料的第二多个层中的所述一个或多个层中的相邻层之间。

22. 根据权利要求20所述的转换器,其中所述第一和第二多个层面对面地层叠。

23. 根据权利要求20所述的转换器,其中所述第一材料的第一多个层中的每个层被构造成圆柱形芯体,而所述第二材料的第二多个层中的每个层被构造成围绕所述第一材料的圆柱形芯体同中心地设置的圆柱形壳体,其中所述圆柱形芯体的半径小于射出的电子在所述第一材料中的平均自由程的长度的1/2。

24. 根据权利要求23所述的转换器,其还包括第三绝缘材料的第三多个层,其被构造成围绕所述第二材料的圆柱形壳体同中心地设置的圆柱形壳体。

25. 根据权利要求20至24中任一项所述的转换器,其中所述第一材料包括高原子电荷数成分。

26. 根据权利要求25所述的转换器,其中所述高原子电荷数成分是耐火的金属或金属氧化物。

27. 根据权利要求25所述的转换器,其中所述高原子电荷数成分是钨。

28. 根据权利要求20至24和26至27中任一项所述的转换器,其中所述第二材料的原子电荷数不同于所述第一材料的原子电荷数。

29. 根据权利要求20至24和26至27中任一项所述的转换器,其中所述第二材料的原子电荷数低于所述第一材料的原子电荷数。

30. 根据权利要求20至24和26至27中任一项所述的转换器,其中所述第二材料是金属。

31. 根据权利要求30所述的转换器,其中所述金属是铝。

32. 根据权利要求21所述的转换器,其中所述第三材料是SiO₂。

33. 根据权利要求20所述的转换器,其中所述第一材料的第一多个层中的每个层夹在所述第二材料的第二多个层中的两个层之间。

34. 根据权利要求20至24、26至27和31至33中任一项所述的转换器,其中可被所述第一材料吸收的高能光子的能量在100 eV或更大的范围内。

35. 根据权利要求20至24、26至27和31至33中任一项所述的转换器,其中可被所述第一材料层吸收的高能光子包括X、XUV或伽马射线。

36. 根据权利要求20至24、26至27和31至33中任一项所述的转换器,其中所述第一和第二多个层与具有负载的电路耦合。

37. 根据权利要求36所述的转换器,其中所述负载是电可驱动的部件、电力存储系统或电网。

38. 根据权利要求20至24、26至27、31至33和37中任一项所述的转换器,其中所述第一和第二多个材料层可与拦截从光子通量源发射的光子通量并且与其传播方向大体上垂直的表面耦合,并且其中所述第一和第二多个层中的每个层均与所述光子通量的传播方向成掠射角定向。

39. 根据权利要求38所述的转换器,其中所述第一材料的第一多个层中的每个层被构造造成圆柱形芯体,而所述第二材料的第二多个层中的每个层被构造造成围绕所述第一材料的圆柱形芯体同中心地设置的圆柱形壳体,其中所述圆柱形芯体的半径小于射出的电子在所述第一材料中的平均自由程的长度的 $1/2$ 。

40. 根据权利要求39所述的转换器,其还包括第三绝缘材料的第三多个层,其被构造造成围绕所述第二材料的圆柱形壳体同中心地设置的圆柱形壳体。

41. 一种用于将高能光子发射转换成电能的能量转换器系统,其包括:

壁,所述壁围绕光子通量源并且具有拦截从所述光子通量源发射的光子通量并且与其传播方向大体上垂直的表面,其中所述光子通量包括处于不可见状态的高能光子;以及

覆盖所述壁的所述表面的多个转换器片,每个转换器片包括:

第一材料的第一多个层,其吸收所述高能光子并且发射通过所述第一材料中被吸收的高能光子而从所述第一材料中的原子射出的电子,所述第一多个层中的每个层的厚度小于射出的电子在所述第一材料中的平均自由程的长度,其中沿所述光子通量的传播方向所测得的、所述转换器片中的第一材料的多个层的总厚度大于所述光子通量的光子在所述第一材料中的平均自由程的长度;以及

第二材料的第二多个层,其收集从所述第一材料的第一多个层发射的电子并且与所述第一材料的第一多个层电耦合,所述第二材料的第二多个层中的每个层的厚度大于从所述第一材料的第一多个层发射的电子在所述第二材料中的平均自由程的长度,其中所述第二材料的第二多个层中的一个或多个层介于所述第一材料的第一多个层中的相邻层之间。

42. 根据权利要求41所述的转换器系统,其中所述第一和第二多个层中的每个层均与所述光子通量的传播方向成掠射角定向。

43. 根据权利要求41所述的转换器系统,每个转换器片还包括第三材料的第三多个层,所述第三多个层中的每个层介于所述第二材料的第二多个层中的所述一个或多个层中的相邻层之间。

44. 根据权利要求41所述的转换器系统,其中所述第一和第二多个层面对面地层叠。

45. 根据权利要求41所述的转换器系统,其中所述第一材料的第一多个层中的每个层被构造造成圆柱形芯体,而所述第二材料的第二多个层中的每个层被构造造成围绕所述第一材料的圆柱形芯体同中心地设置的圆柱形壳体,其中所述圆柱形芯体的半径小于射出的电子在所述第一材料中的平均自由程的长度的 $1/2$ 。

46. 根据权利要求45所述的转换器系统,每个转换器片还包括第三绝缘材料的第三多个层,其被构造成围绕所述第二材料的圆柱形壳体同中心地设置的圆柱形壳体。

47. 根据权利要求41至46中任一项所述的转换器系统,其中所述第一材料包括高原子电荷数成分。

48. 根据权利要求47所述的转换器系统,其中所述高原子电荷数成分是耐火的金属或金属氧化物。

49. 根据权利要求47所述的转换器系统,其中所述高原子电荷数成分是钨。

50. 根据权利要求41至46和48至49中任一项所述的转换器系统,其中所述第二材料的原子电荷数不同于所述第一材料的原子电荷数。

51. 根据权利要求41至46和48至49中任一项所述的转换器系统,其中所述第二材料的原子电荷数低于所述第一材料的原子电荷数。

52. 根据权利要求41至46和48至49中任一项所述的转换器系统,其中所述第二材料是金属。

53. 根据权利要求52所述的转换器系统,其中所述金属是铝。

54. 根据权利要求43所述的转换器系统,其中所述第三材料是SiO₂。

55. 根据权利要求41所述的转换器系统,其中所述第一材料的第一多个层中的每个层夹在所述第二材料的第二多个层中的两个层之间。

56. 根据权利要求41至46、48至49和53至55中任一项所述的转换器系统,其中可被所述第一材料吸收的高能光子的能量在100 eV或更大的范围内。

57. 根据权利要求41至46、48至49和53至55中任一项所述的转换器系统,其中可被所述第一材料层吸收的高能光子包括X、XUV或伽马射线。

58. 根据权利要求41至46、48至49和53至55中任一项所述的转换器系统,其中所述第一和第二多个层与具有负载的电路耦合。

59. 根据权利要求58所述的转换器系统,其中所述负载是电可驱动的部件、电力存储系统或电网。

60. 一种用于将来自高能光子的能量转换成电力的方法,其包括以下步骤:

在第一材料的第一多个层的一个层中吸收从光子通量源发射的光子通量中的高能光子,所述第一材料的第一多个层与围绕所述光子通量源的壁的表面耦合,所述表面大体上垂直于所述光子通量的传播方向,其中所述高能光子处于不可见状态,并且其中沿所述光子通量的传播方向所测得的所述第一材料的第一多个层的总厚度大于所述光子通量的光子在所述第一材料中的平均自由程的长度;以及

在第二材料的第二多个层的一个层中收集通过所述高能光子而从所述第一材料中的原子射出的一个或多个电子;

其中所述第一材料的第一多个层中的每个层的厚度小于射出的电子在所述第一材料中的平均自由程的长度,其中所述第二材料的第二多个层与所述第一材料的第一多个层电耦合,其中所述第一和第二多个层中的每个层均与所述光子通量的传播方向成掠射角定向。

61. 根据权利要求60所述的方法,其中所述第二材料的第二多个层中的每个层的厚度大于从所述第一材料发射的电子在所述第二材料中的平均自由程的长度,其中所述第二材

料的第二多个层中的一个或多个层介于所述第一材料的第一多个层中的相邻层之间。

62. 根据权利要求60所述的方法, 其中所述第一和第二多个层面对面地层叠。

63. 根据权利要求60所述的方法, 其中所述第一材料的第一多个层中的每个层被构造成圆柱形芯体, 而所述第二材料的第二多个层中的每个层被构造成围绕所述第一材料的圆柱形芯体同中心地设置的圆柱形壳体, 其中所述圆柱形芯体的半径小于射出的电子在所述第一材料中的平均自由程的长度的1/2。

64. 根据权利要求60至63中任一项所述的方法, 其中所述第一材料包括高原子电荷数成分。

65. 根据权利要求64所述的方法, 其中所述高原子电荷数成分是耐火的金属或金属氧化物。

66. 根据权利要求64所述的方法, 其中所述高原子电荷数成分是钨。

67. 根据权利要求60至63、65和66中任一项所述的方法, 其中所述第二材料的原子电荷数不同于所述第一材料的原子电荷数。

68. 根据权利要求60至63、65和66中任一项所述的方法, 其中所述第二材料的原子电荷数低于所述第一材料的原子电荷数。

69. 根据权利要求60至63、65和66中任一项所述的方法, 其中所述第二材料是金属。

70. 根据权利要求69所述的方法, 其中所述金属是铝。

71. 根据权利要求60所述的方法, 其中所述第一材料的第一多个层中的每个层夹在所述第二材料的第二多个层中的两个层之间。

72. 根据权利要求60至63、65、66、70和71中任一项所述的方法, 其中可被所述第一材料吸收的高能光子的能量在100 eV或更大的范围内。

73. 根据权利要求60至63、65、66、70和71中任一项所述的方法, 其中可被所述第一材料层吸收的高能光子包括X、XUV或伽马射线。

高能光子向电力的转换

技术领域

[0001] 本文所描述的实施例一般地涉及光子能量转换,并且更具体地,涉及便于能量从高能光子向电力的转换的系统和方法。

背景技术

[0002] 存在许多已知的将光学范围内的光子能量转换成电力的装置,举例来说诸如光伏电池(“太阳能电池”)。这些装置通常由具有不同物理特性,诸如为不同电子亲和势(见P. Würfel的“太阳能电池物理”,第一版,Wiley-VCH(2004))的至少两种材料(即硅基半导体)构成。当所述材料中的一种被阳光照射时,太阳光子将光电子从价带激发至导带,这提供了电迁移。价带与导带之间的能隙通常为电子伏的量级,这与入射太阳光子的能量类似。具有不同电子亲和势的两种材料的布置在材料边界两端引起电压,该电压可以被分接以得到电能。

[0003] 然而,没有已知的用于将来自诸如XUV、X和伽马射线的高能光子状态下操作的光子的能量转换成电力的装置。这样的装置可被用在广泛的应用中-例如,这样的装置可被用作能量转换器,用于由举例来说诸如乏裂变燃料棒的放射性材料发射的、从举例来说诸如爆炸物的爆震源发射的以及从高温等离子体和加速粒子束发射的高能光子的转换,并且这样的装置可被用作空间应用中的装置,作为电源、屏蔽等。提供这样的装置的困难源自于高能光子对于物质的高穿透性,这是由于当与可见光相比较时,这样的光子与物质少得多的交互,并且源自于这样的事实:即对于大多数材料,电子的平均自由程通常比高能光子的平均自由程短,两者相差多个数量级。由于平均自由程的这种差异,从用于捕获高能光子的材料中的原子发射的电子倾向于屈服于重新组合,而它们的能量在高能光子捕获材料内转换成热能。

[0004] 因此,理想的是提供便于能量从高能光子向电力的转换的系统和方法。

发明内容

[0005] 本文所描述的实施例针对能量从高能光子向电力的转换。本文所提供的实施例的基本原理基于通过高能光子使电子从原子的射出(包括位于深处的内壳层电子从高原子数(高Z)材料的原子的射出)。射出的电子携带动能,该动能能够导致射出的电子向装置的不同区域迁移,在这些区域中,射出的电子的聚集能够产生电势,该电势进而能够驱动外部电路。所关注的光子谱包括处于不可见状态的光子,所述不可见状态包括但不限于XUV射线、X射线、伽马射线等。

[0006] 本文所提供的系统和方法采用带有不同原子电荷的一系列材料,以利用通过单个高能光子经一连串俄歇电子发射的大量电子发射。在一个实施例中,高能光子转换器优选地包括由用于吸收高能光子并且发射电子的材料的第一多个层与用于吸收或收集电子的其他材料的第二多个层的组合制成的线性分层纳米级晶圆。所述第二多个层的材料的原子电荷数不同于所述第一多个层的材料的原子电荷数。所述第一和第二多个层优选地并排地

(即面对面地)横向层叠,介于彼此之间并且与高能光子的传播方向成掠射角(浅角)定向。在另一个实施例中,纳米级的层以管状或壳状构型被构造。在还有另一个实施例中,所述层包括绝缘材料的第三多个层。

[0007] 本文所描述的系统和方法可在广泛的应用中被采用-从能量检测和吸收到粒子加速器中的以及来自其他极热物质(诸如高温等离子体)和/或发射大量高能光子的爆震源(诸如爆炸物)的高能光子的能量转换、放射性核废料(诸如乏裂变燃料棒)的发射的能量捕获以及空间应用(诸如电源、屏蔽等),以及本领域的技术人员可容易地想到的其他应用。

[0008] 在审阅了附图和详细说明之后,示例实施例的其他系统、方法、特征和优点对于本领域的技术人员将是或将变得显而易见。

附图说明

[0009] 包括结构和操作在内的示例实施例的细节可通过对附图的研究部分地得到,其中相似的参考标号指示相似的部分。附图中的组成部分并不一定按比例绘制,而是将重点放在示出本发明的原理上。另外,所有的示意都旨在传达概念,其中相对的尺寸、形状及其他具体属性可被示意性地示出,而不是实际上地或精确地示出。

[0010] 图1A是线性分层纳米级高能光子转换器元件的示意图。

[0011] 图1B是备选的线性分层纳米级高能光子转换器元件的示意图。

[0012] 图1C是包括图1A所示的线性分层纳米级转换器元件的阵列的高能光子转换器的示意图。

[0013] 图1D是包括图1B所示的线性分层纳米级转换器元件的阵列的高能光子转换器的示意图。

[0014] 图1E是高能光子转换器电路的示意图。

[0015] 图1F是与包括负载的外部电路耦合的备选的高能光子转换器电路的示意图。

[0016] 图2A是圆柱形分层纳米级高能光子转换器元件的透视图。

[0017] 图2B是备选的圆柱形分层纳米级高能光子转换器元件的透视图。

[0018] 图2C是包括图2A所示的圆柱形分层纳米级转换器元件的阵列的高能光子转换器的透视图。

[0019] 图2D是包括图2B所示的圆柱形分层纳米级转换器元件的阵列的高能光子转换器的端视图。

[0020] 图2E、图2F和图2G是具有备选的几何构型的高能光子转换器的端视图。

[0021] 图3是示出入射高能光子 ν 的传播特性以及通过入射高能光子 ν 使其从材料层中的它们的原子射出的电子 e^- 的迁移特性的图。

[0022] 图4A是包括多个线性层叠的层的转换器片的示意图。

[0023] 图4B是包括多个线性层叠的层的转换器片的透视图。

[0024] 图5是示出沿相容表面布置的在图4A和图4B中所描绘的片的组件的示意图,所述相容表面拦截从光子通量源发射的光子通量并且与其大体上垂直。

[0025] 图6A、图6B和图6C是示出沿相容表面布置的在图4A和图4B中所描绘的片的组件的示意图,所述相容表面拦截从光子通量源发射的光子通量并且与其大体上垂直。

[0026] 应注意的是,具有类似结构或功能的元件通常为了示意的目的而贯穿所有附图用

相似的参考标号来表示。还应注意的是,附图仅旨在便于对优选实施例的说明。

具体实施方式

[0027] 下面所公开的附加特征和示教中的每一个都可以单独地或者与其他特征和示教相结合地被采用,以产生便于能量从高能光子向电力的转换的系统和方法。现在将参照附图更详细地描述本发明的代表性的示例,这些示例既单独地也组合地采用这些附加特征和示教中的多个。这种详细的说明仅旨在向本领域的技术人员示教用于实践本示教的优选方面的进一步的细节,而不是旨在限制本发明的范围。因此,在下面的详细说明中公开的特征和步骤的组合对于在最广泛的意义上实践本发明可能不是必需的,而是仅被示教以具体地描述本示教的代表性的示例。

[0028] 另外,代表性的示例和从属权利要求的各种特征可以不被具体和明确地列举的方式来组合,以便提供本示教的附加的有用实施例。此外,要明确指出的是,在说明书和/或权利要求中公开的所有特征旨在被单独地并且彼此独立地公开,用于原始公开的目的以及用于独立于实施例和/或权利要求中的特征的构成来限制要求保护的的主题的目的。还要明确指出的是,所有值范围或对实体集合的指示公开了每个可能的中间值或中间实体,用于原始公开的目的以及用于限制要求保护的的主题的目的。

[0029] 本文所描述的实施例针对能量从高能光子(举例来说诸如能量优选地在大约100 eV或更大的范围内的光子)向电力的转换。实施例的基本原理基于通过高能光子使电子从原子的射出(包括位于深处的内壳层电子从高原子数(高Z)材料的原子的射出)。射出的电子携带动能,该动能能够导致射出的电子向装置的不同区域迁移,在这些区域中,射出的电子的聚集能够产生电势,该电势能够被分接以驱动外部电路。所关注的光子谱包括优选地处于不可见状态的光子,所述不可见状态包括但不限于XUV射线、X射线、伽马射线等。这样的光子的能量比处于可见状态的光子的能量大若干数量级,并且因此,用于热化的裕度也大得多(热卡诺系数接近一)。由于高入射光子能量,一般为100 eV或更高,所以与诸如光电装置(例如太阳能电池)的其他标准光子能量转换器或基于热电效应(例如塞贝克效应)的装置相比,本文所描述的系统和方法能够实现异常高效率的能量转换。

[0030] 如下面更详细地讨论的那样,用于控制这种可能很高的增益的系统和方法将高能光子的能量有效地引导成适当形式的电能,该电能进而能够被分接以驱动外部电路,并且因此覆盖广泛的应用,包括其中存在强磁场(使得电子动态由跨磁场的回转运动表征)的那些应用。结果,本文所描述的系统和方法可在广泛的应用中被采用-从能量检测和吸收到粒子加速器中的高能光子的能量转换、来自其他极热物质(诸如高温等离子体)和/或发射大量高能光子的爆震源(诸如爆炸物)的高能光子的直接能量转换、放射性核废料(诸如乏裂变燃料棒)的发射的能量捕获以及空间应用(诸如电源、屏蔽等),以及本领域的技术人员可容易地想到的其他应用。

[0031] 本文所描述的系统和方法利用带有不同原子电荷的材料的一系列层,以利用通过单个高能光子经一连串俄歇电子发射的大量电子发射。在一个实施例中,高能光子转换器优选地包括由用于吸收高能光子并且发射电子的材料的第一多个层与用于吸收或收集从第一多个层发射的电子的其他材料的第二多个层的组合制成的线性分层纳米级晶圆。第二多个层的材料的原子电荷数不同于第一多个层的材料的原子电荷数。在另一个实施例中,

纳米级的层以管状或壳状构型被构造。纳米级的层便于光电子与供电子原子的分离。采用这些结构,结果得到的转换器可以减少入射在材料上的功率通量,否则材料将直接暴露于高能光子,由此减少这些材料的受热量并且还可以改善材料的劣化,否则材料要经受严重的高能光子辐照损害。

[0032] 详细地参照附图,用于以高效率进行从高能光子向电力的能量转换的系统和方法被示出。为了前述讨论的目的,假设一个或多个转换器装置被嵌入在能够决定性地影响电子轨道的强磁场中。然而,如将从下文显而易见的是,根据装置的特征长度尺度,电子轨道特性最少地受磁场(其具有实际可获得的强度)影响,使得所述实施例可等同地适用于其中存在很小的磁场或者不存在磁场的应用,诸如乏裂变燃料棒应用。

[0033] 参照图1A至图1F,具有线性结构的光子能量转换器的实施例被示出。如在图1A中所描绘的那样,具有线性结构的光子能量转换器的最基本的构件或转换器元件10由A型材料的第一层12构成,A型材料的第一层12具有第一原子数 Z_1 并且优选地包括高原子数成分,举例来说诸如耐火的金属或金属氧化物。第一层12优选地夹在两个B型材料的层14之间,B型材料的层14具有不同于A型材料的第一层12的原子数的第二原子数 Z_2 并且优选地包括这样的金属:即典型地,该金属优选地由比A型材料的第一层12的原子数低的原子数表征(即 $Z_2 < Z_1$)。如在1B中所描绘的那样,基本构件10可选地能够通过C型材料的绝缘层16的添加来加强。A型、B型和C型材料的示例性集合可包括但不限于:A=钨(W),B=铝(Al),C=诸如SiO₂的绝缘材料。备选地,绝缘层可以仅是自由流动的氦气,其还能充当冷却剂。然而,本领域的技术人员将容易地想到,可用与本发明的精神相一致的其他材料来代替。

[0034] 在图1C和图1D所描绘的优选实施例中,转换器11和13包括一连串的基本构件或基本构件的阵列,这些基本构件并排地(即面对面地)横向层叠,直至光子在所有A型层12中花费的理论最大总光程长度与要被A型材料吸收的高能光子 ν 的平均自由程相当或大于其。如在图1C和图1D中所描绘的那样,一个或多个B型材料的层14介于相邻的A型材料的层12之间,并且可选地,C型绝缘材料的层16介于相邻的B型材料的层14之间。

[0035] 并排地层叠构件或转换器元件10为总体结构提供了良好地适于有效适应由在A型材料中被吸收的高能光子 ν 所引起的电子发射的几何形状。如在图3中所描绘的那样,由于光子 ν 的极化垂直于光子 ν 的传播方向,所以射出的电子 e^- 的方向主要在平面 P_0 内(其中适当衰变的角分布离开该平面,但峰值在该平面上),平面 P_0 垂直于光子 ν 的传播方向(但是这样的平面包含光子 ν 的极化)。如在图1A和图1B中所描绘的那样,转换器元件10的层12和14沿这样的方向并排地层叠:即该方向使得层之间的边界表面的法向矢量大体上与光子 ν 的传播方向正交。在下文所描述的一个优选构型中,层之间的边界表面能够被对准为与入射高能光子 ν 的传播方向成掠射角(浅角)。结果,通过入射高能光子 ν 在A型材料的层12内从它们的原子射出的电子 e^- 能够大体上正交地迁移到相邻的B型材料的层14中。

[0036] 每个实施例及其任何变型的原理的核心是要求发射的光电子 e^- 不在A型材料的层12中被捕获和/或吸收,而是在B型材料的层14中被吸收。为了确保射出的电子 e^- 不在A型材料的层12内被捕获并且增加射出的电子 e^- 从A型材料的层12逃逸或迁移到B型材料的层14中的可能性,每个A型材料的层12的厚度 ℓ_1 优选地小于电子在这样的A型材料中的平均自由程的长度或者与其相当。每个B型材料的层14的厚度 ℓ_2 优选地大于电子在B型材料中的平均自由程的长度或者与其相当。优选地,这些实施例的层的纳米级布置反映了下列内在物理

原理:即A型材料中的电子平均自由程 $\ell_e(Z_1)$ 与B型材料中的电子平均自由程 $\ell_e(Z_2)$ 差别不是非常大,而同时A型材料中的光子平均自由程比B型材料中的光子平均自由程小得多,即 $\ell_p(Z_1) \ll \ell_p(Z_2)$ 。

[0037] 例如,对于100 keV的入射光子,用于这些系统的典型层厚度尺寸包括:A型材料的 ℓ_1 等于大约1 nm,而B型材料的 ℓ_2 等于大约100 nm,其中可选的C型材料的 ℓ_3 被调节为在必要的情况下防止在相邻的层之间形成电弧。对于高达10 T的磁场B,这些尺寸小于电子的回转半径 R_e 。因此,根据这些长度尺度,电子不被磁化,但它们的动态主要处于碰撞状态。结果,上述转换器元件10或转换器11和13也适用于不存在磁场或磁场小得可忽略的应用。

[0038] 通过入射高能光子 ν 而从A型材料的层12内的原子射出的电子 e^- 向相邻的B型材料的层14的迁移导致电荷的聚集并且最终在A型材料的层12与B型材料的层14之间产生电势。参照图1E和图1F,所有A型层12和B型层14都与电路连接,使得每个A型层12和每个B型层14均充当单独的电极。如对于本领域的技术人员显而易见的那样,存在几乎无限数量的选择和备选方案用于以并联或串联的方式连接层或层集合。这样的电路的最佳布置有利地为结果是应用可决定的。例如,单独的层12和层14能够以这样的方式连接,即由此每个A型材料的层12如在图1E中所描绘的那样连接于最近的B型材料的层14中的一个;或者,每个A型材料的层12能够如在图1F中所描绘的那样连接于由C型材料的绝缘层16将其与该A型材料的层12分开的最近的B型材料的层14中的一个。在这些构型中,电耦合的层有效地形成纳米电池,并且自发形成的电势差与迁移电子的动能相当。可用于驱动负载的总电压等于单独的纳米电池单元15的电压或纳米电池单元17和19的串联的总和。如在图1F中所描绘的那样,包括负载22的外部电路20与纳米电池单元17和19耦合,所述纳米电池单元17和19被描绘为串联耦合,但也可并联耦合。负载22可包括电可驱动的系统或部件、能量存储系统、电网等。

[0039] 备选地,通过调节电极层12与14之间的电路的负载电阻,能够从外部控制稳态电压,并且能够相应地调节绝缘层16的厚度尺寸。

[0040] 在另一个实施例中,基本构件包括圆柱形管体或壳体构型。如图2A所示,圆柱形转换器元件110包括A型材料的圆柱形芯体112,该圆柱形芯体112被B型材料的圆柱形管体或壳体114包围。如在图2B中所描绘的那样,可选地用C型材料的绝缘壳体116包围每个B型材料的壳体114同样是有可能的。在这个圆柱形构型中,相同的尺寸规则适用于各种厚度,即A型材料的圆柱形芯体112的半径小于A型材料中的电子平均自由程的大约一半或者与其相当,即大约 $\ell_e(Z_1)/2$,而B型材料的壳体114的厚度与B型材料中的电子平均自由程相当,即大约 $\ell_e(Z_2)$ 。

[0041] 转换器元件110的圆柱形管体或壳体布置的优点是其在捕获发射的电子时所提供的更高的效率,这是因为电子在整个360°的方位角范围内以相等的概率被发射。如在图3中所描绘的并且如上文所描述的那样,电子 e^- 主要在平面 P_e (其中适当衰变的角度分布离开该平面,但是峰值出现在该平面上)内沿垂直于光子 ν 的传播方向并且平行于光子的极化($\vec{E}$)的方向被射出。取决于光子的极化角度,射出的电子 e^- 能够在围绕360°方位角的任何地方被定向,并且在这样的情况下,与在图1A至图1F中所描绘的线性构型相比,单元的圆柱形布置在B型材料中引起更高的电子捕获并且有效地导致更高的电子捕获效率。

[0042] 与上述线性几何形状转换器类似,圆柱形构件110被集束以形成符合与线性几何

形状转换器相同的物理尺寸约束的总结构。作为示例,在图2C中描绘了一种具体的层叠布置111。备选地,如在图2D中所描绘的那样,在另一种层叠布置113中,绝缘材料116能够填充相邻的转换器元件或单元110之间的空隙空间。这样的空隙空间还能够被用作使诸如加压氦气的气体冷却剂循环的导管。由于He对光子的吸收对于所关注的光子能量是可忽略不计的,这形成了有效的冷却手段。电连接同样与线性几何形状构型类似,并且同样地在连接构件110的层或壳体112和114方面提供了许多不同的选择。

[0043] 在图2E、图2F和图2G中示出了备选的几何形状构型。图2E示出了交错的线性层叠分层布置,其中A型材料的层112被偏移以定位成与B型材料的层114相邻。图2F示出了多个A型材料的芯体112,所述芯体112被B型材料包围,所述B型材料填充了芯体112之间的空隙空间114。尽管示出为正方形,但芯体112可以是圆形、椭圆形等等。除了芯体112和壳体层114为正方形之外,图2G与图2D中的构型类似。在这些情况下,元件112、114和116的尺寸设定符合在图1A至图1C以及图2A至图2D中所讨论的相同约束。各正方形边缘处的电子动态不同,但除了这些边缘效应之外,其他物理特性与圆柱形的情况大体上类似。

[0044] 任一种几何形状中的基本构件如上所述为由多达三种类型的材料构成,其均适于自发产生电子与已被高能光子离子化的供电子原子的原始位置的分离。这又导致电压在层之间和/或在可选的绝缘体两端产生。如上所述,这样的布置能够与电路电连接以进行电气作业或从转换器传送电力。作为进一步的变型,应注意的是,还可在这些层之间施加外部电压(偏置电压),这提供了对电气特性的进一步控制并且使跨所述层中的任何一个形成电弧的可能性最小。

[0045] 参照图4A和图4B,为了使暴露于辐射的表面面积最大化以确保入射高能光子 ν 被A型材料的层212捕获并且不是仅穿过B型材料的层214,转换器片或单元200的层叠的A型材料的层212和B型材料的层214以及可选的C型绝缘材料的层216优选地与入射高能光子 ν 的传播方向成掠射角(浅角) θ 倾斜,该角度 θ 例如可以是大约 $1/100$ 弧度的量级。使转换器片200倾斜还确保了被轰击的A型材料的充分冷却并且使每个单独的A型材料的层212的厚度最小化(相对于电子的平均自由程)以及使整个转换器组件中的所有A型材料的层212的总有效厚度最小化。使转换器片200以掠射角倾斜还使得电子主要地垂直于A型材料的表面被射出。这还使每个片200的重复层的必要数量减小为原来的大约 $1/\theta$,这是因为与其中片200的表面的定向角 Φ 被组织成与入射高能光子 ν 的传播方向正交的情况相比,A型材料中的传输距离被提高了相同倍数。这还使电子向相邻的B型材料的层的逃逸最大化。

[0046] 在备选实施例中,在图4A和图4B中所描绘的转换器片200包括并排地层叠并且以掠射角 θ 倾斜的多个圆柱形转换器元件110(在图2A和图2B中被示出)。

[0047] 参照图4B,为了有效地吸收能量为大约100 keV的量级的大多数高能光子,装置的高度H需要沿占主导地位的光子传播的基本方向延伸为大约1厘米(1 cm)的长度量级。这是由于希望通过具有足够的总厚度的A型材料沿光子传播方向拦截整个光子通量。由于每个B型材料的层的厚度通常比每个A型材料的层的厚度大得多($\ell_1 < \ell_2$),所以投影到光子通量方向上的构件的完整层叠的总高度H需要比具体的光子在A型材料中的平均自由程大得多,以确保高能光子在大于它们在这样的材料中的平均自由程的总距离上与A型材料相遇。因此,构件的完整层叠的高度应超过光子在A型材料中的平均自由程并且至少是其 ℓ_2/ℓ_1 倍,或者在包括绝缘层的情况下,至少是其 $(\ell_3 + \ell_2)/\ell_1$ 倍。

[0048] 如上所述,总体布置还在转换器材料通过光子吸收以及随后的电子加热而受热时提供了对转换器材料的有效冷却。如在图4A中所描绘的那样,由于与以垂直于入射光子通量的方向的定向角 Φ 对层叠进行分层的简单布置相比,本实施例中的总表面面积被增大1/ θ ,因此便于冷却。使加压气体冷却剂流过构建在结构中的管道或者仅将层叠连接于散热装置也是有可能的。本领域的技术人员将容易地想到,可存在许多其他方式来加强冷却并且具体的实现将由特定的应用决定。

[0049] 如在图5中所描绘的那样,转换器片200的组件220能够沿相容表面230布置,该相容表面230拦截从给定的光子通量源240发射的光子通量242并且与其大体上垂直。这种构型为可能需要(或者获益于)从发射的光子通量的能量产生的广泛应用提供了灵活性和适应性。

[0050] 在图6A、图6B和图6C中描绘了典型应用的总体几何形状的其他示例。图6A示出了等离子体约束系统300,其包括具有表面334的圆柱形腔室330,表面334拦截从示出为热等离子体的光子通量源340发射的光子通量342并且与其大体上垂直。约束系统300还包括沿圆柱形腔室330定位的磁场发生器332和沿腔室330的表面334固定的转换器片200的阵列332。所述片中的每一个都与光子通量342的入射高能光子 ν 的传播方向成掠射角定向。图6B示出了约束系统400,其包括具有表面434的圆柱形容容器430,表面434拦截从示出为热等离子体或乏裂变燃料棒的光子通量源440发射的光子通量442并且与其大体上垂直。约束系统400还包括围绕容器430的表面434固定的转换器片200的阵列432。所述片中的每一个都与光子通量442的入射高能光子 ν 的传播方向成掠射角定向。图6C示出了粒子加速系统500,其包括具有表面534的圆柱形管体530,表面534拦截从示出为加速粒子束的光子通量源540发射的光子通量542并且与其大体上垂直。加速系统500还包括沿圆柱形管体530定位的磁场发生器532和沿管体530的表面534固定的转换器片200的阵列532。所述片中的每一个都与光子通量542的入射高能光子 ν 的传播方向成掠射角定向。

[0051] 在每种情况下,发射的高能光子都在大于它们在A型材料中的平均自由程的总距离上与这样的材料A相遇。这确保了它们被A型层内的原子适当地吸收并且确保了光子流向电子流的最终被放大的转换。在通量发射块周围,A型材料密集地覆盖所有暴露于高能光子通量的表面面积,而同时允许冷却和电气连接。

[0052] 应注意的是,根据本文所提供的实施例,多个电子由于高能光子的吸收而从A型材料中的特定原子被发射。这是因为从特定的深层电子内壳层状态击出的电子产生了空缺,该空缺迅速地被俄歇过程填充,该俄歇过程又触发了第二和第三俄歇过程,或者一连串过程。此外,第二光子再发射能够在相邻的原子中进一步触发这样的过程。相应地,一个光子原则上能够触发大约100个电子(有时候更多)的总发射。因此,这种多次电离提供了双重益处。首先,其起到使每个原始入射光子的电子量倍增为原来的100至1,000倍的作用,这导致了高电流放大率。其次,其起到使电子能量从几十keV减少到仅几十eV的作用。因此,所产生的电压相对于击穿方面的担忧是可管理的。这提供了光子能量向电力(其电荷和电流)的增强的转换,同时其还使目标的受热最小化。实际上,该系统通过从位于光子源旁边的材料移除大部分的沉积光子能量(通过电能)而被用作有效的冷却装置,并且容易地将转换的能量输送到不在辐射附近的远处位置。

[0053] 然而,本文所提供的示例实施例仅旨在作为示意性的示例而不是以任何方式进行

限制。另外,本领域的技术人员将容易地认识到,类似系统能够通过参数的适当修正而等地适用于不同能量的光子。

[0054] 在前述说明书中,已参照本发明的具体实施例对其进行了描述。然而,将显而易见的是,可对本发明进行各种修正和改变而不背离本发明的更广义的精神和范围。例如,读者应理解,除非另有说明,否则在本文所描述的过程流图中示出的过程动作的特定顺序和组合仅是示意性的,并且可使用不同的或附加的过程动作或者过程动作的不同组合或顺序来执行本发明。作为另一个示例,一个实施例的每个特征能够与在其他实施例中示出的其他特征混合和匹配。本领域的普通技术人员已知的特征和过程可类似地根据需要进行结合。另外地并且明显地,可根据需要添加或减去特征。相应地,除了根据所附权利要求及其等同内容之外,本发明不受限制。

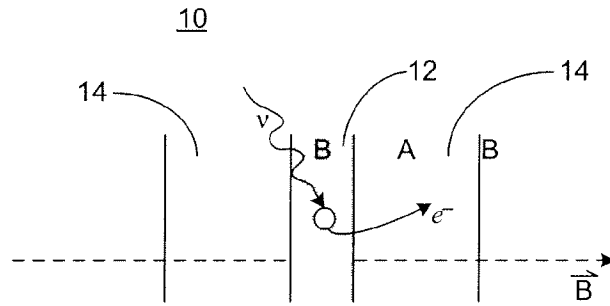


图 1A

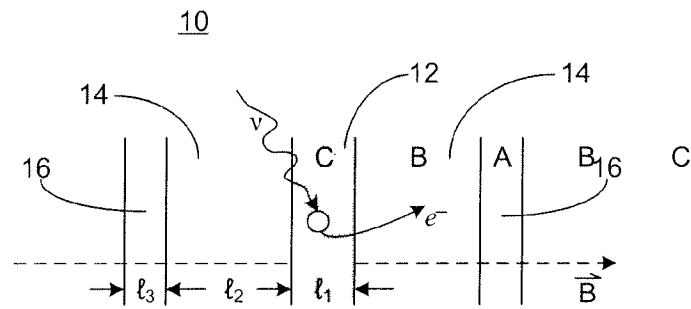


图 1B

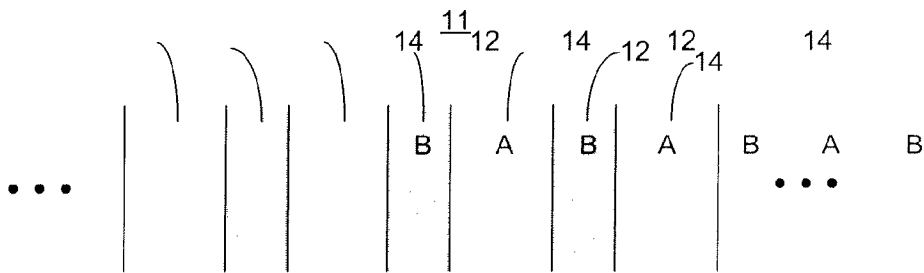


图 1C

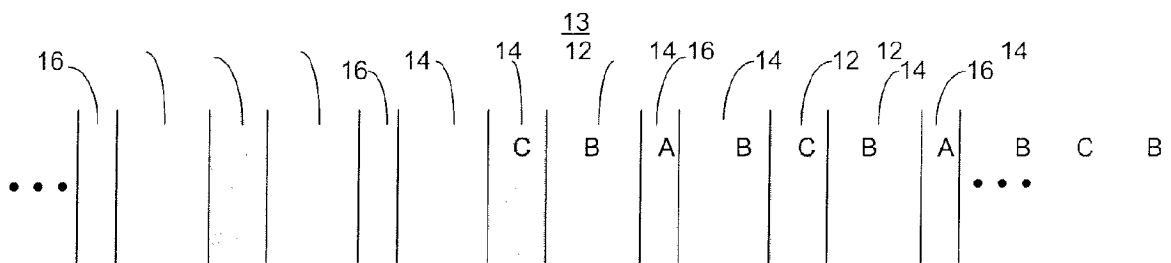


图 1D

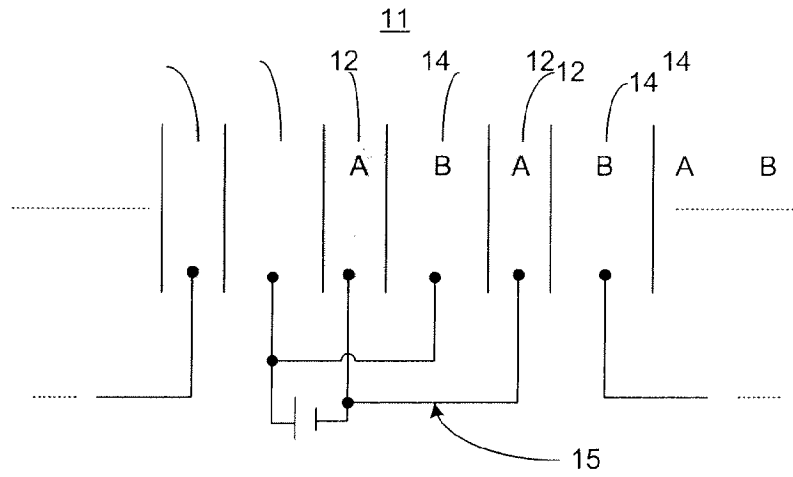


图 1E

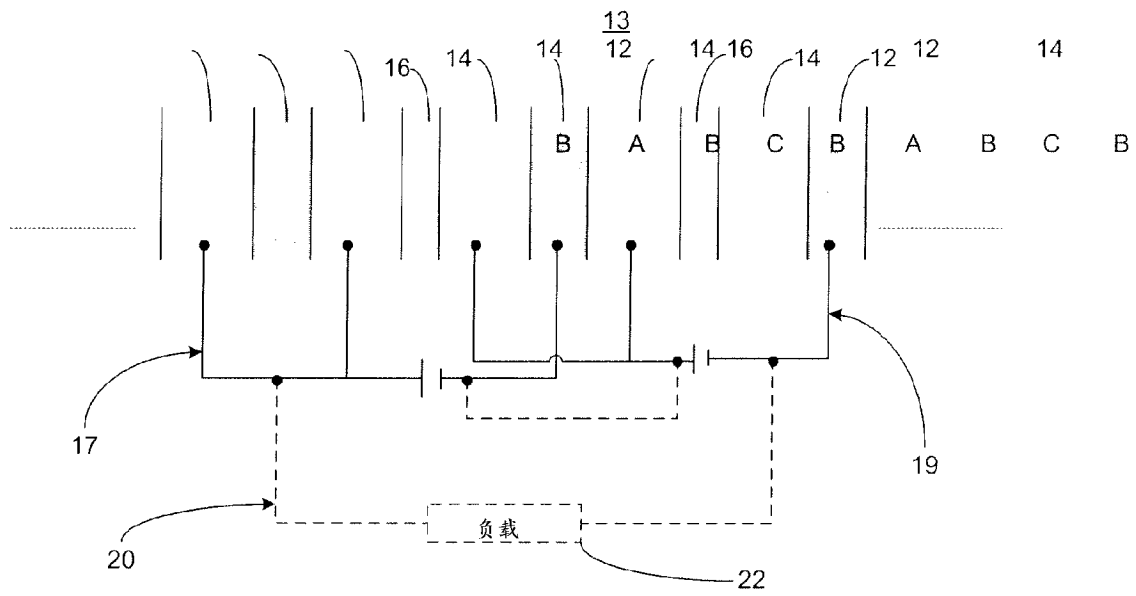


图 1F

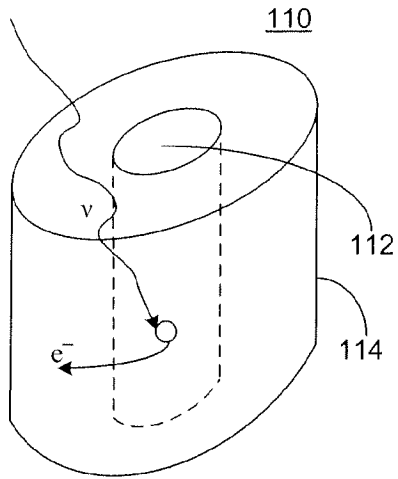


图 2A

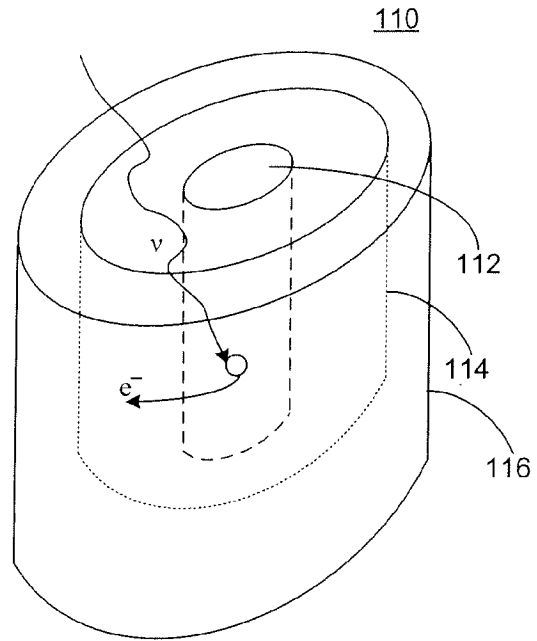


图 2B

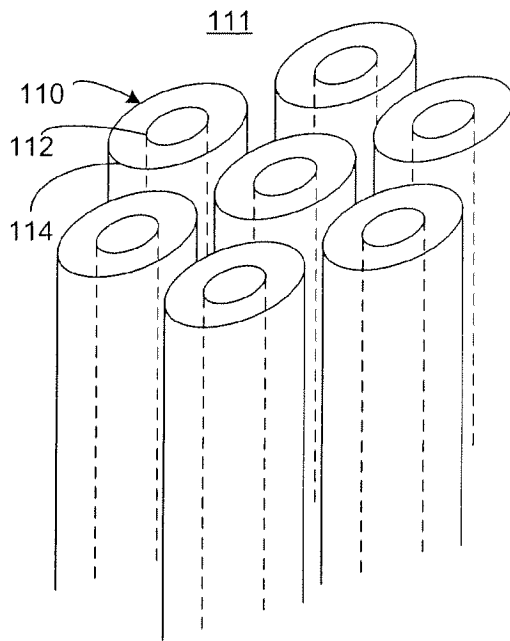


图 2C

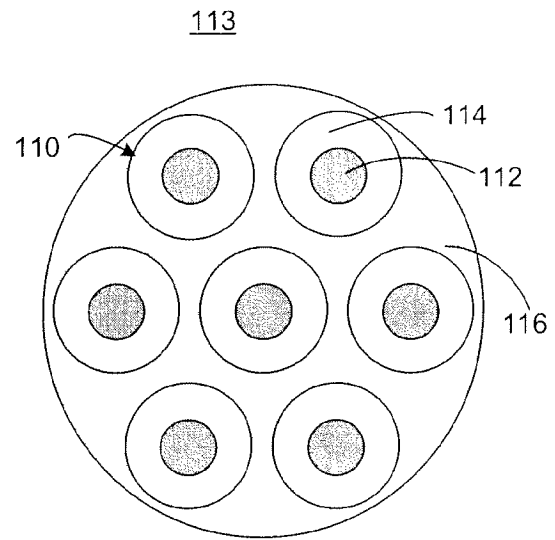


图 2D

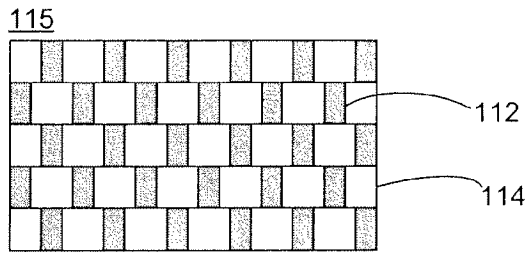


图 2E

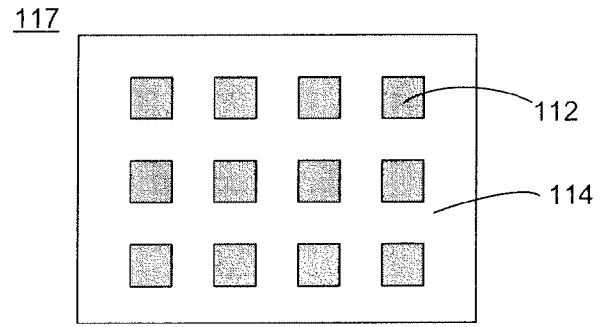


图 2F

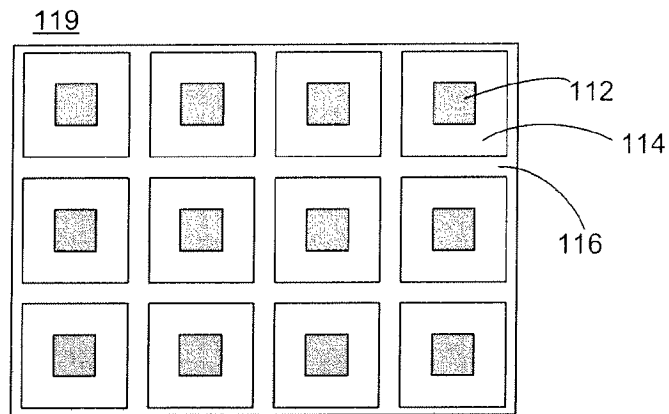


图 2G

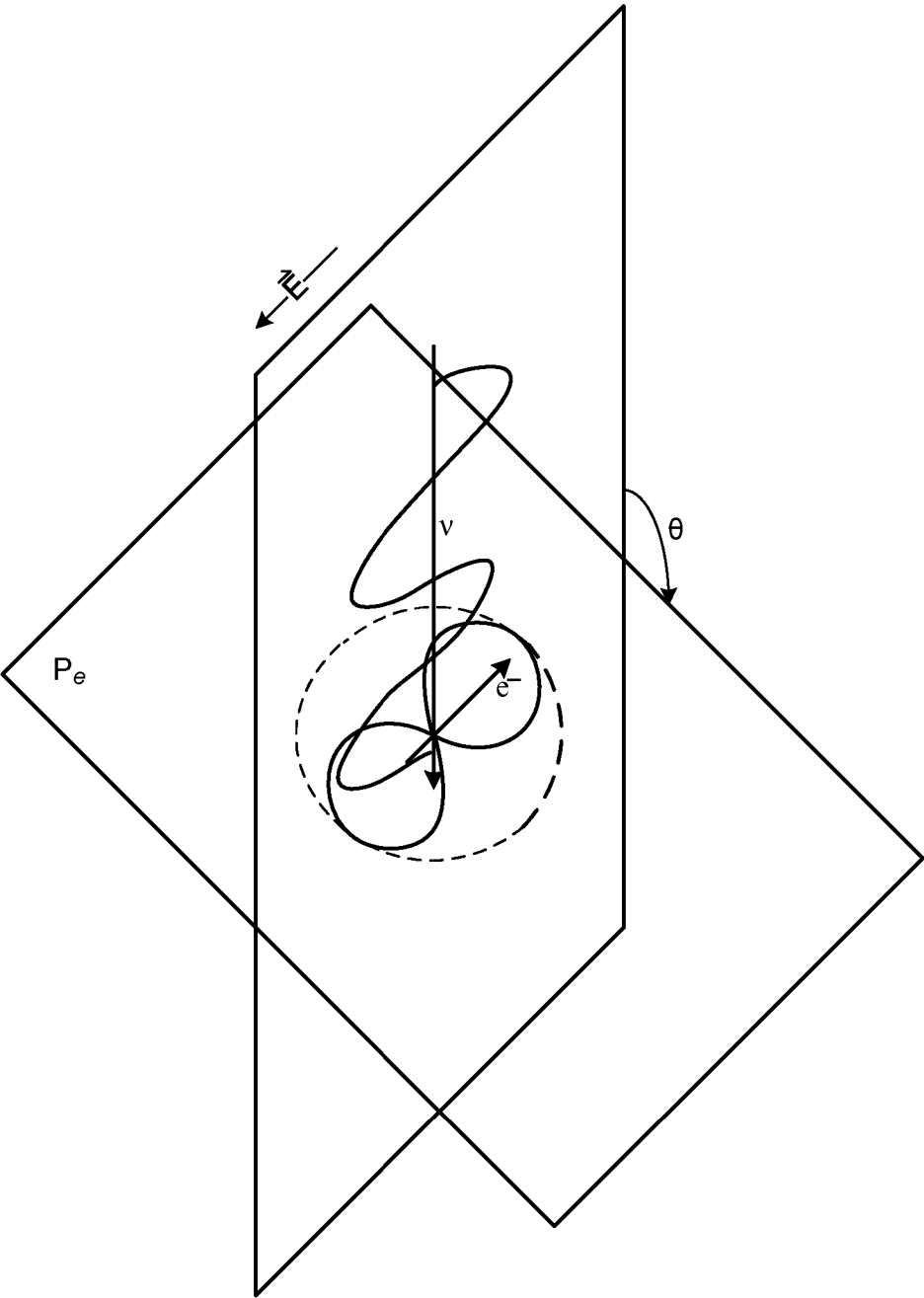


图 3

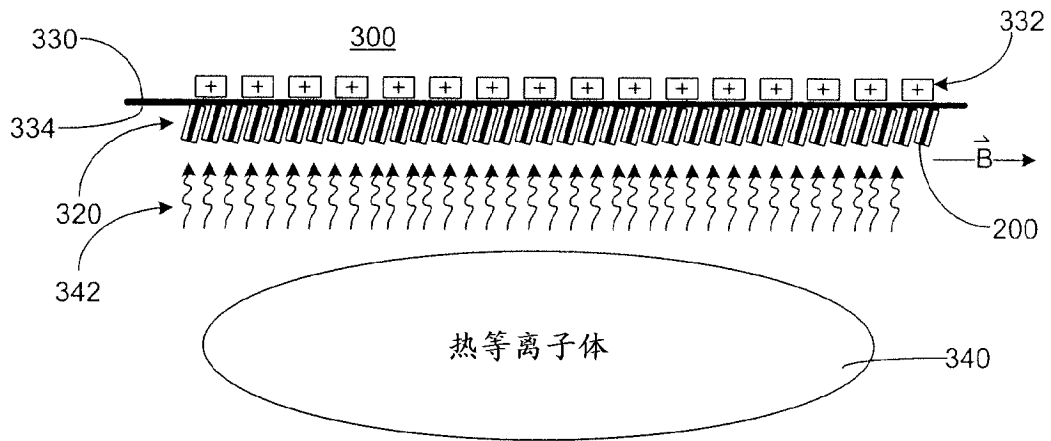


图 6A

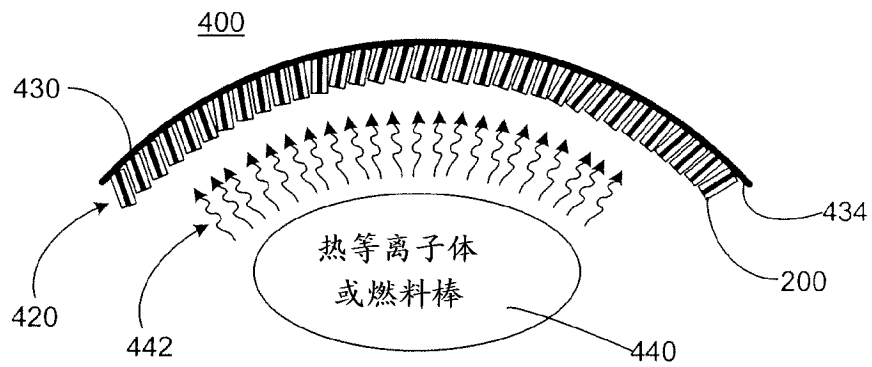


图 6B

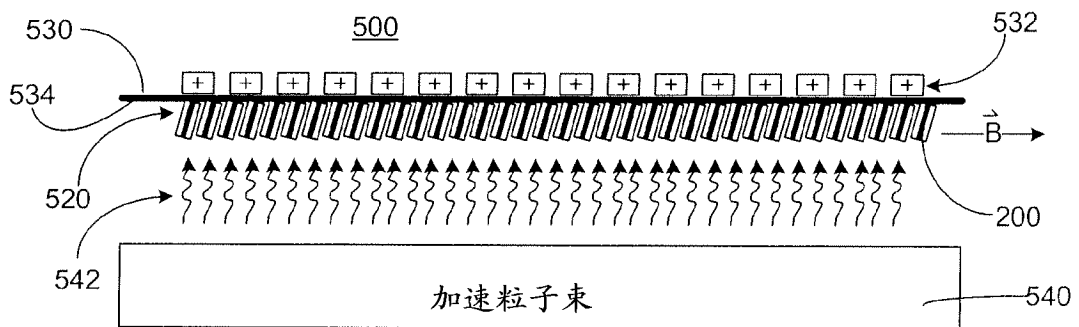


图 6C