



## [12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 99807247.8

[45] 授权公告日 2005 年 5 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1202545C

[22] 申请日 1999. 6. 11 [21] 申请号 99807247.8

[30] 优先权

[32] 1998. 6. 11 [33] US [31] 60/088,978

[86] 国际申请 PCT/DK1999/000323 1999. 6. 11

[87] 国际公布 WO1999/065050 英 1999. 12. 16

[85] 进入国家阶段日期 2000. 12. 11

[71] 专利权人 彼得·维斯科尔

地址 丹麦于斯楚普

共同专利权人 尼尔斯·奥勒·尼尔森

阿明·德隆

弗拉迪米尔·科拉里克

[72] 发明人 彼得·维斯科尔

尼尔斯·奥勒·尼尔森 阿明·德隆

弗拉迪米尔·科拉里克

审查员 杨 玲

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

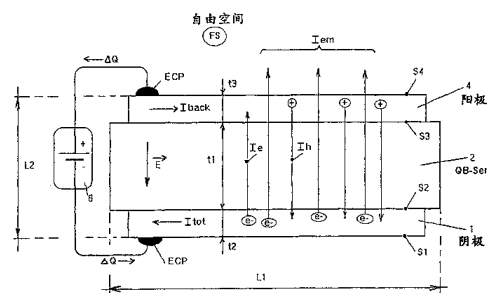
代理人 王以平

权利要求书 8 页 说明书 37 页 附图 24 页

[54] 发明名称 平面电子发射器件、应用它的显示器  
器以及发射电子的方法

## [57] 摘要

公开一种以电子的准弹道传输的存在为基础的平面电子发射器。在它的最佳实施例中平面电子发射器包括有确定间隙的纯半导体或绝缘体,所述具有肉眼可见厚度(约 1mm)的体由 2 个平行表面限定并带有一组沉积/生长在所述 2 个自由表面上的 2 个电极,使当一个低的外部电场(约 100V/cm)施加在包括 2 个电极及夹在它们中间的所述半导体或绝缘体的结构上时,从带负电荷电极(阴极)射入所述半导体或绝缘体的大部分电子为准弹道性质,即这部分射入电子在所述半导体或绝缘体内被加速而不遭受任何明显的非弹性能量损耗,因而在带正电荷电极(阳极)处得到足够的能量与合适的动量使能穿过所述阳极而从所述结构逸入空间(真空),所述半导体或绝缘体包括一种具有一个预定的晶体取向的材料或材料系统。



1.一种电子发射器件包括：

- 一个具有第一与第二表面的元件，其中第一表面适于保持一种第一电荷，而第二表面适于保持一种第二电荷，其特征在于，该元件还包括一个分开此第一与第二表面的材料层，

- 用于提供横越至少一部分元件的电场的装置，所述电子发射器件还包括：

- 向元件的第一表面提供第一电荷的装置，与

- 向元件的第二表面提供第二电荷的装置，第二电荷与第一电荷不同，以便沿至少基本垂直于第一或第二表面的方向移动多个电子通过元件，并且至少所述多个电子中的一部分从该元件发射，

其中：

- 制备该材料层，以便通过使其成为具有垂直于第一或第二表面的预定晶体取向的单晶材料，并且通过具有低于  $10^{14}\text{cm}^{-3}$  的杂质浓度，从而减少在该材料层内的电子散射，其中该材料层是半导体层。

2.根据权利要求 1 的电子发射器件，其中所述材料层包括由硅、锗、碳化硅、砷化镓、磷化铟、锑化铟、砷化铟、砷化铝、碲化锌和氮化硅或它们的任何组合所构成的组中选择的材料。

3.根据权利要求 1 的电子发射器件，其中所述材料层的制备包括用一种掺杂剂对该材料层掺杂以便得到一个预定的杂质浓度。

4.根据权利要求 3 的电子发射器件，其中掺杂剂包括磷、锂、锶、砷、硼、铝、钽、镓、铟、铋、硅、锗、硫、锡、碲、硒、碳、铍、镁、锌或镉或它们的任何组合。

5.根据权利要求 1 的电子发射器件，其中向第一表面提供第一电荷的装置包括至少部分地导电的第一材料或材料系统。

6.根据权利要求 1 的电子发射器件，其中向第二表面提供第二电荷的装置包括至少部分地导电的第二材料或材料系统。

7.根据权利要求 5 的电子发射器件，其中至少部分地导电的第一

材料或材料系统构成一个具有第一与第二表面的层，其中至少部分地导电的第一材料或材料系统的第二表面与一个电荷贮存器的第一端子有效连接，并且其中至少部分地导电的第一材料或材料系统的第一表面与元件的材料层的第一表面直接接触。

8.根据权利要求 6 的电子发射器件，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统构成一个具有第一与第二表面的层，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统的第一表面与电荷贮存器的第二端子有效连接，并且其中至少部分地导电的第二材料或材料系统的第二表面与元件的材料层的第二表面直接接触。

9.根据权利要求 5、7 中任一项的电子发射器件，其中至少部分地导电的第一材料或材料系统包括金属或掺杂水平高于  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  的高掺杂半导体材料。

10.根据权利要求 6、8 中任一项的电子发射器件，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统包括金属或掺杂水平高于  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  的高掺杂半导体材料。

11.根据权利要求 9 的电子发射器件，其中至少部分地导电的第一材料或材料系统包括金、铬、铂、铝、铜、铯、铷、铯、铯、铯、铯、铯、铯、铯或它们的任何组合。

12.根据权利要求 10 的电子发射器件，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统包括金、铬、铂、铝、铜、铯、铷、铯、铯、铯、铯、铯、铯、铯或它们的任何组合。

13.根据权利要求 1 的电子发射器件，其中传导电子包括准弹道电子。

14.根据权利要求 1 的电子发射器件，其中材料层具有低于  $10^{13} \text{cm}^{-3}$  或低于  $10^{12} \text{cm}^{-3}$  的杂质浓度。

15. 根据权利要求 1 的电子发射器件，其中向第二表面提供第二电荷的装置适于发射至少一部分由材料层传导的电子。

16.根据权利要求 15 的电子发射器件，其中向第二表面提供第二电荷的装置包括一个发射至少一部分由材料层传导的电子的薄膜层。

17.一种发射电子的方法，所述方法包括步骤：

- 提供一个元件，它具有第一与第二表面，并且包括分开第一与第二表面的材料层，其中

- 第一表面适于保持一种第一电荷，而第二表面适于保持一种第二电荷，第一表面与第二表面基本平行，

- 制备材料层，以便通过使该材料层具有垂直于第一或第二表面的预定的晶体取向从而提供材料层内弹道或准弹道电子传输的轨迹，且制备材料层，以便通过提供具有低于  $10^{14}\text{cm}^{-3}$  的杂质浓度的材料层从而减少在此材料层内的电子散射，其中该材料层为半导体层，

- 向元件第一表面提供第一电荷，及

- 向元件第二表面提供第二电荷，第二电荷与第一电荷不同，以便在该材料层内建立一个电场，及

- 以基本垂直于第一或第二表面的方向沿弹道或准弹道轨迹传输许多电子通过该材料层，其中所述许多电子中的至少一部分被发射。

18.根据权利要求 17 的方法，其中所述材料层包括由硅、锗、碳化硅、砷化镓、磷化铟、锑化铟、砷化铟、砷化铝、碲化锌和氮化硅或它们的任何组合所构成的组中选择的材料。

19.根据权利要求 17 的方法，其中材料层的配制包括用一种掺杂剂对该材料层掺杂以便得到一个预定的杂质浓度。

20.根据权利要求 19 的方法，其中掺杂剂选自由磷、锂、锑、砷、硼、铝、钽、镓、铟、铋、硅、锗、硫、锡、碲、硒、碳、铍、镁、锌和镉或它们的任何组合所构成的组中。

21.根据权利要求 19 的方法，其中预定的杂质浓度低于  $1 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ ，或低于  $1 \times 10^{12}\text{cm}^{-3}$ 。

22.根据权利要求 17 的方法，其中向第一表面提供第一电荷的装置包括一个至少部分地导电的第一材料或材料系统。

23.根据权利要求 17 的方法，其中向第二表面提供第二电荷的装置包括一个至少部分地导电的第二材料或材料系统。

24.根据权利要求 22 的方法，其中至少部分地导电的第一材料或

材料系统构成一个具有第一与第二表面的层，其中至少部分地导电的第一材料或材料系统的第二表面与一个电荷贮存器的第一端子有效连接，并且其中至少部分地导电的第一材料或材料系统的第一表面与元件的材料层的第一表面直接接触。

25.根据权利要求 23 的方法，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统构成一个具有第一与第二表面的层，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统的第一表面与电荷贮存器的第二端子有效连接，并且其中至少部分地导电的第二材料或材料系统的第二表面与元件的材料层的第二表面直接接触。

26.根据权利要求 24 或 25 的方法，其中电荷贮存器的第一端子与第二端子之间的电位差高于 2 伏特。

27.根据权利要求 22、24 中任一项的方法，其中至少部分地导电的第一材料或材料系统包括金属或掺杂水平高于  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  的高掺杂半导体材料。

28.根据权利要求 23、25 中任一项的方法，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统包括金属或掺杂水平高于  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  的高掺杂半导体材料。

29.根据权利要求 27 的方法，其中至少部分地导电的第一材料或材料系统包括金、铬、铂、铝、铜、铯、铷、铟、镉、钐、钇、钆或铕或它们的任何组合。

30.根据权利要求 28 的方法，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统包括金、铬、铂、铝、铜、铯、铷、铟、镉、钐、钇、钆或铕或它们的任何组合。

31.根据权利要求 17 的方法，其中所述材料层具有低于  $10^{13} \text{cm}^{-3}$  或低于  $10^{12} \text{cm}^{-3}$  的杂质浓度。

32.一种制造电子发射器件的方法，所述方法包括步骤：

- 提供一个具有第一与第二表面的半导体材料层，第二表面与第一表面基本平行，制备该半导体材料层，以便通过使半导体材料层具有垂直于第一与第二表面的预定的晶体取向从而提供在该半导体材料

层内的弹道或准弹道电子传输轨迹，制备该半导体材料层，以便通过提供具有一个低于  $10^{14}\text{cm}^{-3}$  的杂质浓度的半导体材料层从而减少在该半导体材料层内的电子散射，

- 提供一个对第一与第二表面的表面处理以便降低表面粗糙度，

- 提供一个至少部分地导电的第一材料或材料系统，所述第一材料或材料系统构成一个具有第一与第二表面的层，其中至少部分地导电的第一材料或材料系统的第二表面与一个电荷贮存器的第一端子有效连接，并且其中至少部分地导电的第一材料或材料系统的第一表面与半导体材料层的第一表面直接接触，以及

- 提供一个至少部分地导电的第二材料或材料系统，所述第二材料或材料系统构成一个具有第一与第二表面的层，其中至少部分地导电的第二材料或材料系统的第一表面与电荷贮存器的第二端子有效连接，并且其中至少部分地导电的第二材料或材料系统的第二表面与半导体材料层的第二表面直接接触。

33.根据权利要求 32 的方法，其中半导体材料层包括硅、锗、碳化硅、砷化镓、磷化铟、铋化铟、砷化铟、砷化铝，碲化锌或氮化硅或它们的任何组合。

34.根据权利要求 32 的方法，其中预定的晶体取向为<111>、<110>或<100>方向。

35.根据权利要求 32 的方法，其中表面处理包括光学抛光。

36.根据权利要求 32 的方法，还包括用一种掺杂剂对材料层掺杂的步骤以便得到一个预定的杂质浓度。

37.根据权利要求 36 的方法，其中掺杂剂包括从下列组中选择的一种或几种材料：硅、锗、碳化硅，砷化镓，磷化铟，铋化铟，砷化铟，砷化铝，碲化锌或氮化硅。

38.根据权利要求 32 的方法，其中至少部分地导电的第一与第二材料或材料系统包括金属或掺杂水平高于  $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$  的高掺杂半导体。

39.根据权利要求 38 的方法，其中至少部分地导电的第一与第二

材料或材料系统包括金、铂、铬、铝或铜或它们的任何组合。

40.根据权利要求 32 的方法,其中半导体层具有低于  $10^{13}\text{cm}^{-3}$  或低于  $10^{12}\text{cm}^{-3}$  的杂质浓度。

41. 一种平板显示器, 包括

电子发射器件, 该电子发射器件包括:

- 一个具有第一与第二表面并包括一个分开此第一与第二表面的材料层的元件, 其中第一表面适于保持一种第一电荷, 而第二表面适于保持一种第二电荷,

- 用于提供横越至少一部分元件的电场的装置, 所述装置包括:

- 向元件的第一表面提供第一电荷的装置, 与

- 向元件的第二表面提供第二电荷的装置, 第二电荷与第一电荷不同, 以便沿至少基本垂直于第一或第二表面的方向移动多个电子通过元件, 并且至少所述多个电子中的一部分从该元件发射,

其中:

- 制备该材料层, 以便通过使其成为具有垂直于第一或第二表面的预定晶体取向的单晶材料, 并且通过具有低于  $10^{14}\text{cm}^{-3}$  的杂质浓度, 从而减少在该材料层内的电子散射, 其中该材料层是半导体层,

向第二表面提供第二电荷的装置适于发射至少一部分由材料层传导的电子,

向第二表面提供第二电荷的装置包括一个发射至少一部分由材料层传导的电子的薄膜层,

所述平板显示器还包括:

- 一个适于当暴露于电子中时发射许多波长光的光发射层, 所述光发射层在一个基本平行于元件的第一与第二表面的平面内确定一个具有一个或多个表面元件的二维矩阵, 每个表面元件适于发射预定波长的光, 及

- 用于选择地向二维矩阵中的一个或多个表面元件提供电子的装置。

42.根据权利要求 41 的平板显示器, 其中用于发射许多波长光的

光发射层包括合适的发光体或标准彩色电视荧光物质。

43.根据权利要求 41 的平板显示器，其中发射的光至少包括对应于至少三种颜色的三种波长。

44.根据权利要求 43 的平板显示器，其中任何颜色可由所述层发射的至少 3 种颜色的组合导出。

45.根据权利要求 41 的平板显示器，其中发射的波长对应于红色、黄色与兰色，或红色、绿色与兰色。

46.根据权利要求 41 的平板显示器，其中电子包括准弹道电子。

47.根据权利要求 41 的平板显示器，其中选择的装置包括一个图案以便在一个基本平行于第一或第二表面的平面内确定一个电可控矩阵元件的二维矩阵，所述图案由至少部分地导电的材料或材料系统构成。

48.一种用于将薄膜暴露于许多电子中的方法，所述方法包括步骤：

- 提供一个电子发射器，该电子发射器包括：

- 一个具有第一与第二表面并包括一个分开此第一与第二表面的材料层的元件，其中第一表面适于保持一种第一电荷，而第二表面适于保持一种第二电荷，

- 用于提供横越至少一部分所述元件的电场的装置，所述装置包括：

- 向所述元件的第一表面提供第一电荷的装置，与

- 向所述元件的第二表面提供第二电荷的装置，第二电荷与第一电荷不同，以便沿至少基本垂直于第一或第二表面的方向移动多个电子通过元件，并且至少所述多个电子中的一部分从该元件发射，

- 其中：

- 制备该材料层，以便通过使其成为具有垂直于第一或第二表面的预定晶体取向的单晶材料，并且通过具有低于  $10^{14}\text{cm}^{-3}$  的

杂质浓度，从而减少在该材料层内的电子散射，其中该材料层是半导体层，

向第二表面提供第二电荷的装置适于发射至少一部分由材料层传导的电子，

向第二表面提供第二电荷的装置包括一个发射至少一部分由材料层传导的电子的薄膜层，

- 提供一个第二元件，所述第二元件适合于保持被暴露于由电子发射器发射的电子中的薄膜，

- 提供一个在所述元件与第二元件之间的经结构的吸收层，所述吸收层适于在由经结构的吸收层所确定的位置吸收由发射器发射的电子，

- 向电子发射器的材料层的第一表面提供第一电荷，

- 向电子发射器的材料层的第二表面提供第二电荷，第二电荷与第一电荷的符号相反以便从第一表面向第二表面移动电子，及

- 将第二元件的薄膜暴露于至少一些由电子发射器发射的未被所述吸收层吸收的电子之中。

49.根据权利要求 48 的方法，其中由电荷贮存器的第一端子向电子发射器的材料层的第一表面提供第一电荷。

50.根据权利要求 48 的方法，其中由电荷贮存器的第二端子向电子发射器的材料层的第二表面提供第二电荷。

51.根据权利要求 49 的方法，其中电荷贮存器的第一与第二端子之间的电位差高于 2 伏特。

52.根据权利要求 48 的方法，其中第二元件包括金属或半导体材料，所述金属或半导体材料选自由硅、锗、碳化硅、砷化镓、磷化铟、锑化铟、砷化铟、砷化铝、砷化锌和氮化硅或它们的任何组合所构成的组。

53.根据权利要求 48 的方法，其中薄膜包括抗蚀剂。

54.根据权利要求 48 的方法，其中由电子发射器发射的电子包括电子发射器的材料层内的准弹道电子。

## 平面电子发射器件、应用它的显示器以及发射电子的方法

### 技术领域

本发明涉及一种使用半导体或绝缘体基底当暴露于低电场中时产生并传导准弹道电子的新方法。这个方法将使可能在所述半导体或绝缘体内加速电子而不会遭到任何明显的非弹性能量损耗。其主要实施例将是例如在平板显示器与平面电子束光刻中的平面电子发射器。

### 背景技术

在各种应用领域中使用所述（公开的）平面电子发射器的许多装置也被公开，同时也申请对所述装置的优先权。

本发明涉及在高电阻半导体或绝缘体内当暴露于低电场（约100V/cm）中时电子的准弹道传输。准弹道传输的意思是电子散射减至最少以致电子平均自由程成为肉眼可见。这种效应至今只是在当很高电场施加于很短距离范围内时与/或半导体冷却至很低温度时在半导体内才检测到。后面将称呼一种具有上述特性的半导体或绝缘体材料为准弹道半导体或称 QB-Sem。

准弹道传输的利用可通过多种途径。在本申请中这些将分为两个主要领域：

- 1.电子传输半导体：在此领域内其特征性能为准弹道电子在材料内的传输性能，与
- 2.电子源，在此领域内其特征性能为从衬底发射准弹道电子的性能。

相关的现有技术未曾提及高电阻率半导体或绝缘体内的弹道电子，也未提及当暴露于高电场中时的弹道电子。这个事实是由于对半导体内准弹道传输的普通见解造成的结果。高阻材料准弹道传输的可能性是违反直觉的，因而至今尚未探索。对此类弹道传输的基本物理

性质的理解是,只要施加的电场  $E$  在欧姆范围(活动电荷载体的密度与电荷迁移率为恒定且与电场  $E$  无关)内,而且所述半导体或绝缘体材料的厚度大于活动电荷载体的平均自由程(最大为约 1000-2000 埃( $10^{-10}\text{m}$ )数量级)时,这时来自弹道电子的电流分量小到微不足道,导致电子发射电流基本为零值。(作为参考,参看 S.M.Sze:半导体器件物理; John Wiley 1981 或 K.W. Boer:半导体物理综述,第 II 卷; Van Nostrand Reinhold 1992)。

### 1. 电子传输半导体

电子在高电阻率半导体或绝缘体内当暴露于低电场(约  $100\text{V/cm}$ )中时的准弹道传输,是一种可不同程度地用于任何半导体元件或器件的性能。

半导体元件与器件包括广阔的应用与专利范围,此范围内的参考资料是大量的。它制成 4 种应用类型,每一类带有产品的例子。

#### · A 类: 整流与电荷(信息)贮存

此类半导体元件/器件包括肖特基势垒二极管(US5627479 与 EP672257B1), 双极 p-n、p-i-n 二极管、晶体管以及许多单极器件,例如 MIS(金属-绝缘体-半导体)二极管, CCD(电荷耦合器件), MIS 隧道二极管, MIS 开关二极管, IMPATT(碰撞雪崩渡越时间)二极管与 BARITT(势垒注射与渡越时间)二极管及其它有关的渡越时间器件。

#### · B 类: 光敏与发光器件

此类半导体元件/器件其中包括 LEDs(发光二极管), 光敏二极管, 半导体激光器, 雪崩二极管及其它用于光电信号转换目的的光电导器件。

#### · C 类: 放大与固定存贮

本发明在此类半导体元件/器件方面的应用包括双极晶体管与双极单结晶体管, 连同许多单极元件与器件, 包括 FETs(场效应晶体管), JFETs(结型场效应晶体管), MESFETs(金属半导体场效应晶体管), MOSFETs(金属氧化物场效应晶体管)与固定存贮器。在此类中与本

发明特别有关的是隧道晶体管, TEDs(传输电子器件)及其它弹道(热电子)晶体管与/或器件。

· D类: 光图象的检测、形成与处理

半导体摄象机, 电信号至二维光图象/信号的转换, 二光图象/信号亮度/对比度放大与空间放大。

弹道电子器件或者称为热电子器件以前已有人提出过(作为例子参看 S.M.Sze: 半导体器件物理; John Wiley 1981 第 184 页, 与 K.W.Boer: 半导体物理综述, 第 II 卷; Wan Nostrond Reinhold 1992 第 1265 与 1247 页), 但提出的结构生产费用高且不可靠, 要求极小的尺寸(100 埃数量级)与高电场。

## 2. 电子源

本发明涉及一种称为“电子源”的普通类型, 更具体地说涉及一种称为“平面电子源”子类的电子器件。所有这些器件提供一束能运动通过真空区并可用于各种技术应用的电子。

所有电子源的基本要求是在器件的发射表面(面向真空的器件表面)提供足量的电子, 并有足够的能量(大多数情况下为 3-5eV)与一个沿朝着发射表面方向的速度, 以便使这些电子能穿过发射表面-真空界面的能量势垒并从材料逸入真空。能量势垒粗略地由真空能级与发射表面处的电子化学势能之间的差给出。需要的能量可由下列方法中的任一提供:

· 加热发射表面(“热发射”电子源)。

· 在发射表面-真空区域内建立一个足够高的电场(“场发射”电子源)。

· 沿朝着发射表面的方向充分加速的器件的基本部分区域内的电子(“隧道场发射”与“隧道场发射”电子源)。

· 借助光子或其它高能粒子照射发射表面(“光发射”电子源)。

· 降低发射表面-真空界面处的所述能量势垒(“负电子亲和力发射”电子源)。

或通过上述方法的任何组合。

尽管对某些用途要求一个点电子束源,在此场合下电子连续被加速并进行电子-光调制,但有大量的技术应用,在此场合下要求一个平面电子源与/或这种电子源较为有利。此时所有现有技术用于这些应用时,均涉及来自一个特殊材料部分的小点状发射区。一个较大的平面电子发射器只能通过做成一个这种小区的阵列而获得。此外,大部分器件需要一个阳极中的开口用于让电子逸入真空。

有很大量的发明,如可从例如 US5703435 (1997 年 12 月)与 US5534859 (1996 年 9 月)的引文中看到,所有关于平面电子发射器都主要着重在使用这些发明作为场发射平板显示器中的基本结构单元。

大部分现有技术可大致地分为两种类型。

#### 第一类

在第一类中,阴极-阳极发射结构通常都是固态结构并由金属、半导体与绝缘材料组合构成,以便建立在阴极表面-真空空间界面处产生电子场发射的必要条件。这些器件的目的是改善电子发射效率,都使用相同基材的上面带有某些沉积物质的阴极。电子从半导体表面通过阳极中的小孔射入自由空间。其原理是弄窄半导体自由空间势垒并给电子以动量使能逃脱与/或穿过阳极的电势势垒。任何上述方法可用来增大电子发射电流  $I_{em}$ 。

在第一类现有技术中的大多数固态器件的一个特别的特性,是必须在很短距离范围(具有电子平均自由程数量级)内施加高的外部电压,以便产生足够强的电场使便于产生并加速电子。然后这些电子沿着可称为准弹道的轨道在所述电场中(在这里通常还经受电子的雪崩倍增)向发射阳极表面行进。然而同时,它们在行进路上通过非弹性碰撞(散射)而放出可观的能量。目前的理解是,为通过此方法得到显著的电子发射要求施加高电压。如果施加低电场  $E$  (在欧姆范围内,活动电荷载体的密度与电荷迁移率为恒定而与电场  $E$  无关),而且半导体或绝缘材料的厚度  $L_{sem}$  (图 2)大于活动电荷载体的平均自由半径(最大为 1000-2000 埃数量级),这时电流分量  $I_{bal}$  小到微不足道,

导致电子发射电流  $I_{em}$  基本为零值 (图 2)。

下面详述某些选定的第一类现有技术, 其它在本节的末尾中涉及。

US5536193 涉及一种制造场发射器的方法使用下列步骤: 在衬底上扩散小量宽能带隙材料, 用金属加以覆盖, 蚀刻金属直至宽能带隙材料显露, 做成若干个用来发射电子的小峰。

US5463275 只说明电子发射器件包括一个由至少 3 种专门选定的半导体材料构成的层状结构。

US4801994 涉及一个 3 层半导体结构, 其中中间层假定为一个本征半导体, 假定它应以很低的损耗传输电子。

GB1223729 (North American Rockwell Corporation) 描述了一种电子发射隧道阴极, 包括描述于该发明附图 2 中的多层结构。电子由基底层 (阴极) 21 提供, 通过绝缘阻挡层 22 传输, 并从发射层 (阳极) 23 发射。通过施加一个偏压, 电子由量子力学隧道效应 (Fowler-Nordheim 隧道效应) 被激发至高能态通过绝缘阻挡层 22, 如图 4 所示。薄膜阳极层 23 由于具有非常小的厚度和降低弹道电子-电子碰撞几率的单晶性质, 适于传送至少某些激发的电子 (图 4, 98-118 行)。提供给阳极层 23 的电子, 即那些通过阻挡层 22 借助量子力学隧道效应过程获得了超过热能量的必要能量的电子 (热电子), 在它们在阳极区域内的运动过程中不再进一步获得能量。阳极层 23 的制备提供了用于弹道电子层的透明性。

EP504603B1 包括配置一个带有专门杂质水平以便影响不同的耗尽区的复杂半导体结构。该说明公开了一个使用一个肖特基势垒金属半导体结以便改善发射效率。

US5554859, US4303930 与 GB1303659 包括类似于 EP504603B1 的范围。

其它有关参考资料是: 金属-绝缘体-金属电子场发射器 (Physical Review Letters 第 76 卷, 17(1996), 320), 还有包括各种形式类金刚石元件的电子场发射器 (US 5631196, US5703435 及它们的引文)。

## 第二类

在所述现有技术的某些情况下, 第一类的特征 (由或多或少各种

厚度的平面金属、半导体与绝缘材料组成)同涉及必要电场的形式/密度与形状的特征相结合。在这种情况下通常配制发射阴极以便于从一个单点进行电子的场发射。这可通过在小的局部区域上覆盖一块具有低电子功函数的材料与/或成形材料的几何形状以产生一个发射点或尖峰而得到。

下面评述某些选定的第二类现有技术,其它在本节的末尾中涉及。

US 5229682 涉及一个电子场发射器件,其中电子从发射电极的一部分发出,通过相对电极与中间层中的一个小孔直接进入自由空间。电子不横穿中间的半导体或绝缘体层。发射极成形以便带有一个通过对面电极与中间层中小孔的耸起部分。一个平板显示器由一个这种电极的阵列制成。

US 5712490 涉及一种光电阴极器件,包括若干布置在一个窗口层上的几个半导体层,这些半导体层经过选择,以优化吸收电子能力即光电导性最佳,增加那些电子的散射长度。该发明未公开一个布置在窗口层与第一半导体层之间的光透明电极(参看第3列第11行)。

US 5528103 如同 US 5229682,但还包括聚焦脊,其目的是产生一个引起电子从控制电极射入它们之间的电场,使电子会聚成一窄带,而不是为了吸收电子。而且,这些电极/聚焦脊必须是导电的(恰如另外陈述在第7列第27行中)以便可用以达到它们的目的。

US 5212426 如同 US 5229682,但还包括对每个电极(象素)有一个集成控制器,使用内装晶体管控制供给每个发射电极的电荷。

US 4823004 涉及一个器件用于分析电子通过一种材料的弹道轨道,并通过分析弹道轨道获得关于材料的体内结构。

US 5444328 涉及一种方法,用于以一种较少可能造成电击穿的方法构造高电压电子发射半导体结构。

US 5631196 如同 US 5229682,但带有扁平的发射电极,通过相对电极与中间层中小孔的耸起部分由掺杂质的金刚石部分取代作为电子发射物质。

其它有关的参考资料是: US 4683399, EP150885B1, EP601637A1, US5340997 与它们的引文。

### 例外

上述类型的例外包括这些器件，在这些器件中通过在阴极与阳极之间施加足够的电压电子射入两极之间的真空空间。在这种情况下，发射阴极通常由一种具有低电子功函数的材料覆盖与/或经几何成形以便于电子场发射。这种器件的一个例子是：

US5703435 涉及一个场发射阴极，其中电子发射层的材料包括一个石墨与金刚石晶体的混合物或一个非晶体金刚石。

### 应用

为了在适合的器件中利用电子传输半导体与电子源，必须对在现有技术节中描述的基本元件作若干扩展。

发射的电子可能没有为达到它们的目的而应有的足够能量因而必须进一步加速。这典型地通过在离发射表面的某个距离处装有一个在高正电位下的“加速电极”从而在中间真空空间内将发射的电子加速至较高能量而实现。

为实现电子-光转换目的，可在阳极结构中引入适用的“发光体”材料，所述阳极结构成为阴极-阳极结构的一个集成部分，或为离开阴极-阳极结构一个确定的真空距离的“加速电极”的一部分。

电子源器件的应用典型包括所有形式的电子显微镜，平面电子束光刻，蒸发材料用的电子枪，X射线管，电子倍增器（光倍增器，二维粒子/电磁辐射检测器阵列），电子束焊接机，平板显示器（以电子场发射为基础），以及一些快速弹道半导体元件与器件。

### 现有的光刻技术

本发明的一个很重要的应用是在光刻（微光刻）领域内，更具体地说是在文献中称为平面电子束光刻（PEBL）领域内。光刻步骤在集成电路（IC）生产过程中是必不可少的。IC生产的光刻部分大体上包括在通过一个“书写工具”将抗蚀剂沉积在晶片和承受辐射（光子，电子或离子）的暴露部分的表面上及最后清除抗蚀剂的重复步骤中。光、X射线与电子/离子束的光刻是已知的方法，它们大体上可完成IC生产期间的光刻任务。光光刻是标准的、相当成熟的工业技术；它们

的主要缺点是光的衍射限制了可印刷的最小细节。通常在为减小 IC 元件与 ICs 尺寸的进一步竞争中，不得不认为这是一个重要的缺点。通过使用电子作为辐射源，使光衍射的限制不复存在。现有技术中使用的平面电子束光刻原理示意图表示在图 8 中。它使用的基本结构包括阴极 1、一层电介质薄膜 24、一个电子吸收模板 19 与阳极 4。电子量子只是在阳极同电质薄膜直接接触的地方穿过电介质薄膜 24 并通过表面 S4 射入自由空间 FS。然后这些电子被加速并投射到带有预沉积的电子敏感抗蚀刻层 6 的晶片上。在 1989 年剑桥 Cavendish 实验室的 H.Ahmed 等人（包括本发明的某些发明者）的“微光刻讨论会论文集”中，根据经验指出并用实例说明了在实践中如何进行平面电子束光刻。在该现有技术中，使用一个现有技术平面电子发射器实例说明了电子光刻系统。然而，这个易受影响的电子发射器具有其它缺点：适于此用途的平面电子发射器可以一个宽电子束暴露全部晶片，但是，在必需的电压下，由于必需的高电场与短距离引起的效果造成这些平面电子发射器的寿命极短。

本发明提供一个对此问题的解决办法。

现有的场发射平面电子器件的一个缺点是，必须在相对很短的距离范围（电子平均自由程的数量级）内施加高的外部电压，以便产生足够高的电场使便于发射并加速电子。

另一个缺点是，在相对很短的距离范围内施加相对很高局部电场的这个要求，连同所获得材料的质量，导致如下结果：缩短了电子平均自由程（加大散射比率），转而事实上建立了对所述器件内的电子可通过但不产生太明显的能量损耗的可能实际距离的限制。

还有一个缺点，由于上面提到的结果，这些电子只有一小部分具有足够的能量以逃脱阳极（发射）表面而进入邻近阴极-阳极结构的空間。

再有一个缺点是，这些器件通常有相当小的电子发射电流  $I_{em}$ （图 2）与大的背景电流  $I_{back}$ （图 2）。

现有的场发射平面电子器件的又一个缺点是，它们遭受例如每平

方厘米电子发射表面积的电功率消耗过大的弱点。

再有一个缺点是，上述结果导致低的电子发射效率。

现有的场发射平面电子器件的又一个缺点是，它们常常不稳定而易于电介质击穿，这通常严重地限制它们的寿命。

所述器件的又一个缺点是，由于所述器件的关键区域内（在很短距离的高电场范围内）大的能量损耗使它们遭受频繁的过热。

再有一个缺点是，这些平面电子场发射器件的按比例扩大（增大阴极的电子发射区域）构成一个严重问题。

所述器件的又一个缺点是它们使用昂贵的非标准材料。

现有的场发射平面电子装置的又一个缺点是结构太复杂。

适用于在 IC 制造过程暴露晶片的发射一个宽电子束的平面电子发射器的又一个缺点是，它们的寿命极短（不到 30 分钟），这使它们不适用于平面电子束光刻。

## 发明内容

### 电子传输半导体

本发明旨在通过使用现有的，在正常工作条件下，以相当简单的半导体与绝缘体结构，借助于准弹道电子，以解决上述缺点。

本发明的一个目的是使可使用一个半导体或绝缘体衬底，当所述衬底承受低的外加电场（ $\leq 100\text{V/cm}$ ）时电子在此衬底内沿准弹道轨道运动。电子（准弹道电子）沿这些轨道从衬底的一侧（图 3 中表面 S2）向另一侧（表面 S4）运动，并被加速至能量足以穿过电子发射表面 S4 而逸入真空。（从现在起所述衬底也称为准弹道半导体衬底 - “QB - Sem 衬底”。）

本发明的另一个目的是使可使用一种 QB - Sem 衬底，当准弹道电子通过此 QB - Sem 衬底运动时几乎没有能量损耗与动量改变。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB - Sem 衬底，当它用于准弹道电子的准弹道传输时此衬底中不产生热。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB - Sem 衬底，在此衬底

内准弹道传输可在低(欧姆)电场下与在肉眼可见的距离范围内产生。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,在此衬底内电子速度不受高电场迁移率饱和效应的限制。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,在此衬底内电子的行为与在真空中电子的行为相似。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,它不要求高的电场与极小的衬底厚度(100 埃数量级)。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,由它可生产结构简单、坚固耐用、较便宜、可靠性高与寿命长的半导体器件。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,用于电子-光应用的领域内。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,用于半导体元件与器件及集成电路(ICs)的设计与制造。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,在此衬底内,由于在 QB 半导体内的 QB 电子的异常低的功率损耗,因而有助于解决当在 ICs 中使用高堆积密度的元件时的发热问题。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,以便使“热电子”器件的设计不必依赖于复杂的薄膜多重结构,这种结构经常不可靠且制造费用昂贵。

本发明的又一个目的是使可使用一种 QB-Sem 衬底,它不需要高电场,以便基本上消除各种半导体器件通过不可逆转的电介质击穿而引起的变质。

本发明的又一个目的是提供 QB-Sem 衬底,它们可利用现有的半导体技术全部集成。

本发明的又一个目的是提供 QB-Sem 衬底,它们可利用现有的集成电路技术与成果全部集成。

本发明的又一个目的是提供 QB-Sem 衬底,用它们进行快速与高频半导体元件与器件的设计将不受几何形状的约束。

本发明的又一个目的是提供 QB-Sem 衬底,由于有了它们可能

出现关于半导体元件/器件与/或实际装置的新的设计概念。

本发明的又一个目的是提供 QB-Sem 衬底，它们具有与通常的半导体工业产品相同数量级（或更长）的寿命。

在 QB 半导体内，电子能在低的外加电场下在肉眼可见的距离范围内作准弹道运动，由本发明公开的这个结果，将对双极与单极型的各种半导体元件与器件的设计与结构/制造产生重大影响。这些将用作集成电路结构中的单元或元件/零件。

#### 电子源

本发明的一个目的是提供电子发射器，其中发射的电子在一块经受低的外加电场（ $\leq 100\text{V/cm}$ ）的 QB-Sem 衬底内使用肉眼可见的准弹道轨道（这些轨道为几百微米长）。沿那些轨道从衬底的一侧（图 3 表面 S2）向另一侧（表面 S4）运动的电子（准弹道电子）被加速，由此增大了它们的能量，从而通过电子发射表面 S4 逸入真空。

本发明的另一个目的是提供平面电子发射器，其特征在于施加很低的电场/电压。

本发明的又一个目的是提供平面电子发射器，其特征在于很低的功率损耗。

本发明的又一个目的是提供带有全部固态结构的薄（ $\leq 1\text{cm}$ ）平面电子发射器。

本发明的又一个目的是提供平面电子发射器，其中肉眼可见的发射表面没有再划分。

本发明的又一个目的是提供平面电子发射器，其特征在于装配简单而坚固耐用（图 3）。

本发明的又一个目的是提供平面电子发射器，其特征在于装配为自支撑结构。

本发明的又一个目的是提供平面电子发射器，其中没有对电子发射表面的几何尺寸扩大的限制。

本发明的又一个目的是提供平面电子发射器，其中电子发射区域面积大且只受 QB 半导体晶片横向尺寸的限制，此发射面积目前约为

800cm<sup>2</sup> (此限制当然可通过制作模件加以克服)。

本发明的再一个目的是提供适用于平面电子束光刻的电子发射器。

平面准弹道电子发射器的技术应用的数目是很多的, 本发明创始人的意图是同样申请本发明在这些方面的应用。这些申请包括方法与装置/产品, 例如平面电子束光刻, 场发射平板显示器, 高速(低损耗)信号传输装置, 高效检测器, 高效光源, 电子发射显微镜, 二维电磁辐射与/或粒子检测器阵列, 高速容易集成的半导体器件, 各种(新型)电子源及许多其它器件。

在第一方面, 根据本发明的上述目的, 提供一种电子发射器件包括:

- 一个具有第一与第二表面并包括一个分开此第一与第二表面的材料层的元件, 其中第一表面适于保持一种第一电荷, 而第二表面适于保持一种第二电荷,

- 用于提供横越至少一部分元件的电场的装置, 所述装置包括:

- 向元件的第一表面提供第一电荷的装置, 与

- 向元件的第二表面提供第二电荷的装置, 第二电荷与第一电荷不同, 以便沿至少基本垂直于第一或第二表面的方向移动多个电子通过元件, 并且至少所述多个电子中的一部分从该元件发射,

其中:

- 制备该材料层, 以便通过使其成为具有垂直于第一或第二表面的预定晶体取向的单晶材料, 并且通过具有低于  $10^{14}\text{cm}^{-3}$  的杂质浓度, 从而减少在该材料层内的电子散射, 其中该材料层是半导体层。

在第二方面, 本发明涉及一种器件, 包括:

- 一个具有第一与第二表面区域的元件, 其中

- 第一表面区域适于保持一种第一电荷, 而第二表面区域适于保持一种第二电荷, 以及其中

- 该元件包括一种材料或材料系统, 制备成使得减少此材料或材料系统内的电子散射, 并具有一个预定的垂直于第一或第二表面的晶

体取向，

- 提供一个横越至少一部分元件的电场的装置，所述装置包括：
- 向元件的第一表面区域提供第一电荷的装置，及
- 向元件的第二表面区域提供第二电荷的装置，第二电荷与第一电荷不同号以便移动第一表面区域与第二表面区域之间的电子。

根据第一方面与第二方面的材料或材料系统可包括一种半导体，例如硅、锗、碳化硅、砷化锗、磷化铟、砷化铟、砷化铝、碲化锌或氮化硅或它们的任何组合。

为减少电子散射，并从而利于准弹道电子的存在，该材料或材料系统可掺杂一种或多种下列掺杂剂：磷，锂，铋，砷，硼，铝，钽，镓，铟，铋，硅，锗，硫，锡，碲，硒，碳，铍，镁，锌或镉。预定的掺杂水平可低于  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，例如低于  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ，例如低于  $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ ，例如低于  $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ ，例如低于  $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 。

向第一表面提供第一电荷的装置可包括一个至少部分地导电的第一材料或材料系统。同样，向第二表面提供第二电荷的装置可包括一个至少部分地导电的第二材料或材料系统。

至少部分地导电的第一与第二材料或材料系统构成每个具有第一与第二表面的薄层。这两个薄层可包括一种或多种下列材料：金，铬，铂，铝，铜，钨，铪，铪，铌，铟，镨，钕，钇，钆或钕或它们的任何组合。

为向系统提供能量，第一薄层的第二表面可与一个电荷贮存器的第一端子有效连接，而第一表面可与元件的材料或材料系统的第一表面直接接触。同样，第二薄层的第一表面可与电荷贮存器的第二端子有效连接，而第二表面可与元件的材料或材料系统的第二表面直接接触。

电荷贮存器可包括一个蓄电池或任何其它能向器件提供直流或交流电流的能源。

第一与第二薄层可包括一种金属或一个掺杂水平高于  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  的高掺杂半导体。

第三方面，本发明涉及一种发射第一类电子的方法，所述方法包括步骤：

- 提供一个具有第一与第二表面的元件，其中
- 第一表面适于保持一种第一电荷，而第二表面适于保持一种第二电荷，第一表面与第二表面基本平行，
- 制备材料层，以便通过使具有垂直于第一或第二表面的预定的晶体取向从而提供材料层内弹道或准弹道电子传输的轨迹，且制备该材料层，以便通过使具有低于  $10^{14}\text{cm}^{-3}$  的杂质浓度从而减少在此材料层内的电子散射，其中该材料层为半导体层，
- 向元件第一表面提供第一电荷，及
- 向元件第二表面提供第二电荷，第二电荷与第一电荷不同，以便在该材料或材料系统内建立一个电场，及
- 以基本垂直于第一或第二表面的方向沿弹道或准弹道轨迹传输许多电子通过该材料层，其中所述许多电子中的至少一部分被发射。

本文中，第一类电子可包括以正常损耗穿过元件的电子，而第二类电子可包括准弹道电子。

构成至少一部分元件的材料或材料系统可包括半导体材料。与本发明的第一方面与第二方面有关，已提出一个各种适用材料或它们的组合的表。同样，制备工作可包括使用上述的掺杂剂与掺杂水平进行掺杂，以便减少准弹道电子的散射。

为移动准弹道电子，可在元件的第一与第二表面之间施加高于 2V 的电位差。而向元件提供第一与第二电荷的适用材料或材料系统可包括一种金属或一种掺杂水平高于  $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$  的高掺杂半导体材料。这些材料的例子是：金，铬，铂，铝，铜，钨，铀，镱，铟，镨，钕，钇，钆或铈或它们的任何组合。

在第四方面，本发明涉及一种制造一种电子发射器件的方法，所述方法包括步骤：

- 提供一个具有第一与第二表面的半导体材料层，第二表面与第一表面基本平行，制备该材料层，以便通过使具有垂直于第一与第二

表面的预定的晶体取向从而提供在该材料层内的弹道或准弹道电子传输轨迹，制备该材料层，以便通过使具有一个低于  $10^{14}\text{cm}^{-3}$  的杂质浓度从而减少在该材料层内的电子散射，

- 提供一个对第一与第二表面的表面处理以便降低表面粗糙度，
- 提供一个至少部分地导电的第一材料或材料系统，所述第一材料或材料系统构成一个具有第一与第二表面的层，其中第二表面与一个电荷贮存器的第一端子有效连接，并且其中第一表面与元件的材料层的第一表面直接接触，及

- 提供一个至少部分地导电的第二材料或材料系统，所述第二材料或材料系统构成一个具有第一与第二表面的层，其中第一表面与电荷贮存器的第二端子有效连接，并且其中第二表面与元件的材料层的第二表面直接接触。

关于上述材料或材料系统，与本发明的第一与第二方面有关，提出了一个适用的供选材料或它们的组合的表。同样，制备工作可包括使用上述的掺杂剂与掺杂水平进行掺杂，以便减少准弹道电子的散射。

预定的晶体取向可包括<111>、<110>或<100>，或适用于元件晶体结构的任何其它晶体取向。表面处理可包括不同种类的技术，例如蚀刻与/或抛光。抛光可包括光学与/或机械抛光。

关于掺杂剂，它们可从锂、磷、锑、砷、硼、铝、钽、镓或铟或它们的任何组侯的材料组中选择。掺杂水平可低于  $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ，例如低于  $1 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ ，例如低于  $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-3}$ ，例如低于  $1 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ ，例如低于  $1 \times 10^{12}\text{cm}^{-3}$ 。

至少部分地导电的第一与第二材料或材料系统可包括一种金属或一种掺杂水平高于  $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$  的高掺杂半导体材料。适用的材料可包括金、铂、铬、铝或铜或它们的任何组合。

在第五方面，本发明涉及一种平板显示器包括：

- 一个根据本发明第一方面的制品，此制品还包括：
- 一个适于当暴露于电子中时发射多种波长光的材料层，所述材料层在一个基本平行于元件的第一与第二表面的平面内确定一个具有

一个或多个表面元件的二维矩阵，每个表面元件适于发射一种预定波长的光，及

- 用于选择地向二维矩阵中的一个或多个表面元件提供电子的装置。

发射多种波长光的材料层可包括一种合适的发光体或标准的彩色电视荧光物质。该材料层可由元件的第一或第二表面支持。或者，该材料层可由一个附加零件支持。

为得到全色信息，发射的光可包括至少 3 种对应于至少 3 种颜色的波长。通过这 3 种颜色的组合，应能导出视觉范围内的任何颜色。发射的波长可对应于红色、黄色与兰色，或对应于红色、绿色与兰色。

选择的装置可包括一个图案以便在一个基本平行于第一或第二表面的平面内确定一个电可控元件的二维矩阵，所述图案由至少部分地导电的材料或材料系统构成。

在第六方面，本发明涉及一种用于将薄膜暴露于许多电子中的方法，所述方法包括步骤：

- 提供一个根据上述发明的电子发射器，
- 提供一个第二元件，所述第二元件适合于保持被暴露于由电子发射器发射的电子中的薄膜，
- 提供一个在第一与第二元件之间的经构造的吸收层，所述吸层适于在由图案确定的位置吸收由发射器发射的电子，
- 向电子发射器的材料层的第一表面提供第一电荷，
- 向电子发射器的材料层的第二表面提供第二电荷，第二电荷与第一电荷的符号相反以便从第一表面向第二表面移动电子，及
- 将第二元件的薄膜暴露于至少某些由电子发射器发射的未被经构造的吸收层吸收的电子之中。

关于上述材料或材料系统，与本发明的第一与第二方面有关，提出了一个适用的供选材料或它们的组合的表。同样，制备工作可包括上述的掺杂剂与掺杂水平进行掺杂以便减少准弹道电子的散射。

由电荷存贮器的第一与第二端子向第一元件的第一与第二表面分

别提供第一与第二电荷，其中电荷贮存器的第一与第二端子之间的电位差高于 2V。由电荷贮存器的第三端子向第二元件提供第三电荷。

第二元件可包括一种金属或一种半导体材料，例如硅、锗、碳化硅、砷化镓、磷化铟、铋化铟、砷化铟、砷化铝、碲化锌或氮化硅或它们的任何组合。

最后，第一类电子可包括以正常损耗穿过元件的电子，而第二类电子可包括准弹道电子。

#### 附图说明

下面简要介绍附图。

图 1 是根据本发明的当外加电压为零时的电子能带简化示意图。

图 2 是根据本发明的当外加确定电压时的电子能带简化示意图。

图 3 是一个根据本发明的平面电子发射器的基本结构的简化模型。

图 4 是一个平板显示器表示经构图的电极与发光体的示意侧视图，发光体放置在 QB 半导体衬底与阳极之间。

图 5 是图 4 的顶视图。

图 6 是根据图 4 的平板显示器的一个替代实施例，其中发光体放置在阳极的后面。

图 7 是根据图 4 的平板显示器的另一个替代实施例，其中引入一个电子加速极，而发光体放置在加速极的后面。

图 8 是用于平面电子束光刻的现有技术的平面电子发射器的示意侧视图。一个电子吸收材料模板放置在 QB 半导体与阳极之间。附加一个电子加速板，而暴露的衬底放置在此加速板的前面。

图 9 是根据图 8 的一个替代实施例，其中暴露的衬底放置在电子加速板的后面与真空的外面，而 QB 半导体与电极的全部结构放置在真空中。

图 10 是图 8 的等效图但带有一个根据本发明的一个最佳实施例的平面准弹道电子发射器。

图 11 是一个平面电子束光刻中实施平面准弹道电子发射的装置的示意图。

图 12 是一张图 11 装置的照片。

图 13 是图 10 中提到的一个可能的模板。

图 14 是一张扫描电子显微镜的照片，表示由平面电子束光刻制作的某些结构。

图 15 是一个表示根据二维照明板的实施例内部的三维视图。

图 16 是一个表示图 15 实施例外部的三维视图。

图 17 是一个根据二维照明板的替代实施例。

图 18 是一个根据本发明的一个典型、快速的平面肖特基势垒二极管示意图。

图 19 是根据光敏与发光器件的实施例的电子能带简化示意图。

图 20 是一个典型的平面金属半导体场效应晶体管 (MESFET) 的示意图。

图 21 是一个根据本发明的检测与记录二维光信号/图象器件的示意图。

图 22 是一个根据一个光信号/图象处理器件的实施例的示意图。

图 23 是一个根据本发明的一个可能的太阳电池结构的能量示意图。

图 24 是一个根据一个冷发射电子显微镜 (ECEM) 的实施例的示意图。

## 具体实施方式

### 本发明的理论说明

首先将使用一个平面电子发射器 (PEE) 的实施参考图 1 与图 2 对本发明作理论上的说明。并且，为清楚起见，在不放松理论的有效性与普遍性的前提下，将使用一个简化的模型，此模型将使用一组专用的电极。无论如何不应认为这是本发明的限制因素。图 1 与图 2 中的专门配置只是用于图解说明的目的，可能有其它更通用的与/或不同

的配置，必须把它们看作包括在本发明之内。

在图 1 中，表示一个作为一个半导体或绝缘材料的空间坐标函数的简化电子能带结构，其中标志对电子传输关系最密切的两处，量子机械能  $E_v$  (价带的顶部) 与  $E_c$  (导带的底部)。这两个能量  $E_v$  与  $E_c$  被一个能带隙  $E_g$  隔开。在所述半导体或绝缘材料片的两个对应表面  $S_2$  与  $S_3$  上沉积一组两个金属电极，阴极 1 与阳极 4。为简化起见，假定这两个电极是相同的。

在开氏零度下，所有  $E_c$  以上与金属电极的化学势能( $\mu_M^{ch}$ )以上的量子机械电子状态为空白，而  $E_v$  以下与金属电极的化学势能( $\mu_M^{ch}$ )以下的那些状态被占据。在某个确定温度例如开氏 300 度下与热动态平衡下，假定所述半导体或绝缘材料在基本部分内的化学势能( $\mu_B^{ch}$ )在接近能带隙中间的某处。为简化起见，假定此化学势能（在能量上）与金属电极的化学势能相同，这样就形成一个称为中性的电接触。在此确定温度下，在能量  $E_c$  处将有一个小而确定的活动电子密度  $n_e$ ，而在  $E_v$  处将有一个小而确定的活动空穴密度  $n_h$ 。而且假定半经典逼近法有效，这意味着当施加外部电场  $E$  时在电子带结构中局部地没有变化。由于经典电势的存在，这个电场的作用通过在给定距离  $X$  处的全部量子机械能的合适的与空间有关的能量偏移而计算

$$V(X)=E \cdot X \quad (1)$$

因此图 1 描述在确定温度下当不施加外部电场时的情况。

当在金属电极 1 上加上一个确定的负电荷改变  $\Delta Q$  同时从金属电极 2 处移走相应的负电荷改变  $\Delta Q$  时，图 1 描述的情况将变为图 2 描述的情况。两个所述电极上的这些附加电荷将导致在所述半导体或绝缘材料片内存在一个恒定的电场  $E$ 。

在低的欧姆电场  $E$  (约 100V/cm; 还参看图 2) 下，迁移率及热电子密度  $n_e$  与空穴密度  $n_h$  (图 2) 将保持基本恒定，而它们的偏移速度将相应地改变

$$V_{drift}(\text{电子; 空穴}) = \text{迁移率}(\text{电子; 空穴}) \cdot E \quad (2)$$

各自的电流  $I_e$  与  $I_h$  (图 2) 以此方式随着施加电场  $E$  的增高而增

大。电流分量  $I_{bal}$  (图 2) 影响准弹道电子通过图 2 中所示结构的总电流, 准弹道电子是从金属电极 1 射入所述半导体或绝缘材料的那些电子, 当它的沿图 2 所示的准弹道轨道通过所述半导体或绝缘材料向金属电极 2 运动时, 基本上没有非弹性损耗也没有任何明显的动量改变。电流分量  $I_{em}$  的形成是由于那些电子(准弹道电子), 它们在从金属电极 1 穿过所述半导体或绝缘材料并进入金属电极 2 之后仍具有足够的能量(此能量大于发射表面 S4-自由空间界面的能量势垒)与足够大的沿 X 方向的速度分量, 因而能从由金属电极 1 加上所述半导体或绝缘材料加上金属电极 2 组成的结构通过电子发射表面 S4 (图 2) 逸入自由空间(图 2 中的 FS)。

### QB-Sem

现在说明准弹道电子传输器/发射器的各区域的配制。

参考图 3 现在将说明一个高电阻半导体或绝缘体的配制。在这种情况下, 准弹道半导体(QB-Sem)为所述单晶硅样品, 它从一根经过浮区晶体生长法制作的单晶硅棒上切下。薄片(晶片)从此棒上切下, 具有垂直于晶片表面的<111>晶体取向。但是, 也可选择其它<110>与<100>晶体取向而具有相同的结果。如果使用硅以外的晶体材料, 应选择适合于此晶体材料的晶体取向。表面 S2 与 S3 都经过光学抛光。磷的掺杂水平(给定 n 型半导体)选为  $2.0 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 。通过在表面 S2 上逐次蒸发 5nm (50Å) 厚的铬继之蒸发 200nm (2000 Å) 厚的金制成一个肖特基接触(阴极)。阳极为欧姆接触, 包括高磷密度的变质的硅层(一个约 1μm 厚的薄区, 在表面 S3 下面-参看图 3), 与一层 15nm (150Å) 厚蒸发的金膜。

### 区域 2 - 准弹道半导体

准弹道半导体的选择不限于一种特定的材料, 而可使用不同的材料以许多不同的方法配制。唯一的要求是存在一个确定的能带隙  $E_g$  (参看图 1) 与在材料的相反两面之间存在电子的准弹道轨道。在最佳实施例所述材料(QB-Sem)为硅, 但族 111-V 复合半导体(例如镓砷)与族 11-VI 复合半导体也同样是好的供选材料。当选择一个适用的准弹道半导体时, 晶体取向、深层与浅层的掺杂水平及完工器件的工作

温度是应考虑的重要参数。绝缘体例如  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、碳化硅、氮化硅、金刚石（或金刚石类碳颗粒）及其它也同样好地适合用作准弹道半导体（至少在原理上）。已经或正在研究关于将某些材料用作场发射电子源（参见现有技术）。

#### 区域 1 和表面 S1 与 S2 - 阴极区域

在图 3 描述的最佳实施例中，阴极区域通过在硅样品的表面 S2 上蒸发铬或金的金属膜而形成，以此方法形成一个整流的肖特基接触。阴极区域的唯一目的是保持表面 S2 上的各种数量的负电荷  $\Delta Q$ ，而这可通过许多不同的方法实现。

在一个这样的替代方法中，区域 1 只是一个气相部分离子化气体例如氩与/或氦。在这种情况下完全不需要金属电极。

为获得作为将电子射入 QB 半导体区域（图 3 中的 2）的电子注射极的阴极的最佳性能，要求来自蓄电池（参看图 3）的所述附加负电荷  $\Delta Q$  尽可能多地（增加注入 QB 半导体的电子）移动化学势能  $\mu_M^{\text{ch}}$ （参看图 2）。这可通过对表面 S2 进行机械、化学与/或热处理使降低界面电子密度状态而达到。如果需要或要求金属阴极，表面 S2 的这个处理应在沉积金属材料之前进行。或者，可选择一种具有在费米能级下的低电子密度状态与/或低电子功函数的金属材料。

#### 区域 4 和表面 S3 与 S4 - 阳极区域

如上所述，紧邻表面 S3 的一个硅样品薄区注入了高剂量的磷，通过此方法而变质。然后在所述表面 S3 上沉积了一层薄金膜（在沉积金膜之前表面 S3 经过光学抛光），以此方法使整个结构形成一个对硅样品的欧姆接触。这个阳极区域的制作可能不产生所述平面电子发射器 PEE 的最佳性能。

如同阴极区域，阳极区域的唯一目的是保证能移走来自表面 S3 区域的各种数量的负电荷  $\Delta Q$ 。这里，关于所述（阳极）区域的最佳功能的要求与对阴极区域有效的要求不同。空穴电流  $I_h$ （参看图 2）应尽可能小（当界面化学势能  $\mu_M^{\text{ch}}$  向下移动时电流  $I_h$  增大），金属阳极的厚度也应尽可能薄（当准弹道电子通过区域 4 时有相对大的能量损耗）。为实现第一个目标，在表面 S3 - 区域 4 界面内需要一个具有在

费米能级下的高电子密度状态与/或很高的电子密度状态的金属。如同对表面 S2 的制作, 这里同样可通过在沉积金属之前对所述表面 S3 进行适当的机械、化学与/或热处理而实现。

为实现第二个目标, 可选择另一个替代办法。在此情况下, 表面 S3 没有金属电极 (图 3 中的区域 4) 而将一个附加的电极 (电子加速极 7 - 例如参看图 8) 放置在自由空间 FS (图 3) 内并紧挨表面 S3。此附加极相对于表面 S3 与/或阴极区域偏置在相对高的正电位下, 整个装置以此方式极化。如果区域 2 内建立的电场不足以将区域 2 内的准弹道电子加速至具有使这些电子通过所述表面 S3 而逸入自由空间 FS 的需要的能量, 可将表面 S3 以这样的方法几何成形使在表面 S3 的空间上最接近于图 8 中电子加速极 7 的一些尖峰 (与/或急剧弯曲区域) 处局部地增高所述电场。

最后, 可用一个薄金属电极 (用作阳极) 覆盖几何成形的表面 S3, 整个平面电子发射器装配 (包括电子加速极 7) 看起来如同图 8 中表示的布置。以此布置使几何成形的表面 S3 上的充放电效应减至最小。

这里要强调的重点是电子发射器表面 S3 (如果存在金属电极 4 为表面 S4) 的形状不必是严格的平面。

#### QB - Sem 的性能

样品放置在阴极与阳极之间的真空中并处在约 4.0V 外部电压 (正向偏置) 下 (在  $0.5\mu\text{m}$  硅样品厚度范围内施加 4.0V 的情况下, 在硅样品基本部分内建立  $80.0\text{V/cm}$  的电场), 可观察到一个确定的、相对大的与横向均匀的电子发射电流  $I_{\text{em}}$ 。发射电流  $I_{\text{em}}$  的幅值指示全部电子的约 30% 从阴极射入硅样品, 到达能量  $E_c$  (参看图 2) 以上具有约 4eV 能量 (硅中电子亲和能为 4.0eV) 的阳极, 足以使这些电子克服阳极表面 S4 - 真空界面的能量势垒而逸入自由空间 FS (参看图 3)。

#### 本发明的实践说明

首先将使用一个平面电子发射器 (PEE) 参考图 3 从实践上说明本发明, 图 3 是一个图解说明根据本发明的最佳实施例的一个可能的物理模型的示意图。

区域 1 (阴极) 通过表面 S2 连接区域 2 (一块准弹道半导体), 并通过电接触座 (ECP) 连接外部电荷/电压源 8 (电池)。它的 (阴极) 连同电池的作用是供给并保持表面 S2 上的负电荷  $\Delta Q$  (电子)。同时, 从区域 4 (阴极) 移走等量的负电荷  $\Delta Q$ 。阳极通过表面 S3 连接区域 2, 并通过 ECP 连接外部电荷/电压源 8 的正极。所述电子源维持表面 S3 的正充电。以此方法在表面 S2 与 S3 之间建立一个均匀电场  $E$ , 引起一个确定的电流  $I_{tot}$  流过区域 2。现在参看图 2, 此电流  $I_{tot}$  包括 3 个电流分量  $I_e$ 、 $I_h$  与  $I_{em}$ 。前 2 个分量形成背景电流  $I_{back}$ , 而分量  $I_{em}$  由那部分电子 (从现在起称为准弹道电子) — 如果有一个足够高的电场  $E$  与相应的电位差 ( $V = E \cdot t_1$ ) 保持在表面 S2 与 S3 之间, 它们依物理法则离开器件而进入自由空间 FS (图 3) — 形成。

当一块半导体或绝缘材料 (区域 2 — 从现在起称为 QB — Sem) 经适当配制、表面 S2 与 S3 经适当处理而区域 1 与区域 2 经适当选择与构造时, 电流分量  $I_{em}$  (电子发射电流) 会变得相对于背景电流  $I_{back}$  相当大。

当 QB 半导体已适当选定并配制时, 这时即使没有任何优化努力 (包括表面 S2 与 S3 的优化), 在器件的总厚度  $L_2$  为肉眼可见 (小于几 mm) 的情况下, 在约 100V/cm 数量级的电场 (从现在起称为欧姆电场) 下, 可测量到每平方厘米几百毫微安的  $I_{em}$ 。具有 30cm 数量级 (例如目前的硅片尺寸) 的长度尺寸  $L_1$  (器件面积的平方根), 图 3 中描述的器件是一个大面积平面电子发射器, 它的制造十分简单, 且可在十分有竞争力的价格下生产, 即使同标准阴极射线管 (CRT) 屏相比。

在图 3 中描述的最佳实施例中, 通过从电池向金属电极 1 (阴极) 供给额外数量的负电荷  $\Delta Q$ , 在电气上实现了一个充分的从阴极至硅样品的电子注入 (电荷注入 — 参看图 2)。然而, 由于从阴极区域至 QB 半导体的电子注入还与温度强烈有关, 因此 一个根据本发明的平面电子发射器替代实施例可包括一个加热的阴极结构 (区域 1 — 参看图 3)。在另一个替代实施例中, 电子通过光照明阴极发射表面 S2 区域 (在某

些情况下此区域可包括邻接表面 S2 的一部分 QB 半导体) 经过表面 S1 注入 QB 半导体。根据本发明的所述平面发射器 PEE 的这个实施例在光-电子充电中特别有用。这些电子注射方法将在下面各节中对有关最佳实施例的描述中说明。

现在通过描述一个图 3 中表示的最佳实施例说明根据本发明的平面电子发射器 (PEE)。但是还有大量其它的实施例, 全部都根据本发明, 它们涉及所述平面电子发射器的材料、设计、制作与结构的不同选择, 所述不同取决于手边应用的要求。应当强调, 虽然电子射入用于说明 QB 半导体基本原理的 PEE 的自由空间, 但这不是一个要求。如同某些其它可能的实施例将显示, QB 半导体的基本特性, 电子的准弹道传输, 同样可改善许多非发射半导体器件。

#### 应用举例 (最佳实施例说明)

现在将参考图 3 至图 24 图解说明与讨论除平面电子发射器以外的根据本发明的许多应用。尽管将借助一个专用实施例与相关附图说明每个应用领域与/或产品, 但这时必须强调使用本发明的每个应用领域的普遍性。对于每个这样的最佳实施例, 存在大量其它的实施例与/或该最佳实施例的修改方案, 它们都使用本发明作为一个决定性的组成部分。因此, 不应把已在前几节中给出的对本发明的说明与将在后面给出的对本发明的应用的说明看作为对本发明及其应用领域的限制。这个认识是基本的。

#### 例 1. 场发射平板显示器 (FE-FPD)

本发明的一个明显的应用是用于坚固、可靠、大型、低功率损耗与廉价的场发射平板显示器 (FE-FPD) 的结构件。

图 4, 即沿图 5 中表示的 FE-FPD 的 A-A 线的剖视图, 是根据本发明的可能的无真空 FE-FPD 之一。参看图 3, 本发明的基本平面结构-1 (阴极)、2 (QB-Sem) 与 4 (阳极-本最佳实施例中为光透明) 在图 4 中同样清楚显示。唯一的不同是本发明的这个平板显示器应用中阴极与阳极经构图且在 QB 半导体的表面 S3 与阳极 4 之间引入一个附加薄层 3。此第 3 薄层包括供选的 (经构图的) 由荧光物质或

其它彩色发光体形成的红色 5、黄色 18 与兰色 11 区段。这些区段借助于不发光的电子吸收材料 16 彼此隔离。

薄层 1、3 与 4 的构图使能选择各个颜色区段(“象素”)的地址(通过施加合适的电压“接通”一个元件 23(i, j)), 如图 5 中所示。这里阴极 1 (以平行金属条的形式) 沉积在 QB 半导体 2 的背面 S2 上。红色 5、黄色 18 与兰色 11 发光体条沉积在 QB 半导体 2 的前表面 S3 上, 同所述阳极条对准, 如图 5 中所示。最后阳极 4 同样以平行金属条的形式沉积在薄层 3 的上面, 使阳极金属条同阴极金属条或直角, 如图 5 中所示。

电引线 9 与 10 通过电接触座 ECP 接至各自的阳极与阴极金属条, 整个阴极-阳极结构以这样的方法可选择地寻址单色发光元件的矩阵。通过在线 i (阴极) 与线 j (阳极) 之间施加合适的电压以接通元件 (i, j)。电引线 9 与 10 接至通常的 TV 交流/直流电路, 此电路驱动图 3、4、5、6 与 7 中示意表示的整个 FE-FPD。象素矩阵的尺寸 d1、d2、d3 与 d4 可随意优化, 使用标准半导体构图技术以适应手边的 FE-FPD 的空间分辨率要求。

图 4、5、6 与 7 中描述的“单芯片”FE-FPD 的典型总尺寸 L1、L2, 在可利用直径为 30.0cm 的硅晶片情况下, 目前为 20cm 乘 20cm 数量级。当需要大彩色显示器时, 一个随意数目的“单芯片”组件可在一个合适的衬底上结合在一起, 利用区段 d2 与 d4 (参看图 5) 作为结合区, 以此方法防止形成的光图象质量的空间变质。图 4、5、6 与 7 中描述的所述 FE-FPD 的厚度 L3 为 1mm 数量级, 此厚度基本上就是 QB 半导体晶片的厚度。

在图 6 中, 薄层 3 与 4 被换接以便图解说明所述 FE-FPD 另一种可能的物理型式。这里彩色发光层 3 直接面向自由空间 FS。如果需要, 表面 S5 可包括一个透明(防反射)的防护覆盖层。这里必须强调, 图 4、5、6 与 7 中表示的区段 5、6 与 11 不一定必须是发光体。彩色发光层 3 也代表其它类型电子至彩色光转换的材料与/或器件。一个这样的类型可借助图 4 来说明布局。在此情况下, 结构 1 (阴极)、2 (QB

半导体)、红色/黄色/蓝色元件(5, 18, 11)与4(阳极)形成一个彩色发光二极管(CLED)矩阵。其它的FE-FPD布置当然也可使用本发明,且决不应将图4、5、6与7中表示的最佳实施例看作是对本发明在此应用领域内的应用范围的一个限制。

最后,在色彩分辨率、亮度与色彩对比度的要求用目前手边的发光体与/或其它电子-光转换元件/器材不能满足的情况下,可能仍需要采用要求相当高电子能量(区域内的高加速电压约为10至20kV)的标准TV彩色荧光物质。一个使用本发明、表示在图7中的真空场发射平板显示器可能仍是一个最佳的解决办法与一个可能的物理模型。

在这个布置中,图4、5、与6中表示的彩色发光层3从基本平面电子发射结构1(阴极)、2(QB半导体)与4(阳极)上去除而沉积在光透明板(例如玻璃)13上,此板同零件14与12一起构成所述真空FE-FPD的真空封装。沉积在发光层3上的电子加速极7偏置至适当的高正电压。此布置保证离开基本电子平面发射机构(通过机械支撑件15机械固定在底板12上)通过表面54的准弹道电子在自由空间FS(现为真空)内被加速至具有足够高的能量,以便保证标准彩色TV荧光物质5、6、11的正确工作。

图7中表示的真空FE-FPD的厚度(Dim2-尺寸2)为1至2cm数量级,而面积(Dim1-尺寸1)相对于前面描述的无真空FE-FPD不变。

## 例2.平面电子束光刻

通过使用根据本发明的平面电子发射器解决了由现有技术平面电子发射器的短寿命带来的主要缺点。本发明为半导体工业的现代需要提供一个从质量方面看新颖的与坚固耐用的解决办法。此方法与实施例表示在图9至14中。

在现有技术中,已使用图8描述了平面电子束光刻原理示意图。在现有技术中,已使用现有技术的平面电子发射器说明了一个电子光刻的投射系统。本发明的平面电子发射器可直接实施以代替现有技术的发射器。

根据本发明的这种平面电子发射器结构的一个可能的实施例表示在图 10 中。它同现有技术图 8 的主要区别是用图 10 中的一个准弹道半导体 GB - Sem 取代了图 8 中的一个薄膜氧化层 24。现在翻至图 10，从阴极 1 通过表面 S2 注入 QB 半导体的电子，沿 QB 半导体内的准弹道轨道传输。它们通过表面 S3 而进入经构图的吸收模板 19 或阳极 4。一部分准弹道电子，未被电子吸收模板 19 阻止，这时具有足够能量以通过表面 S4 而进入自由空间 FS，例如 i 点上的电子。这些电子然后在自由空间区域 FS 内被电子加速板 7 加速至具有足够高的能量。电子加速板 7 在这个特别的晶片图例中，沉积在电子敏感抗蚀剂层 6 上。

通过电子 - 光方法，例如在点 i (图 10) 出现的电子被映射入处在抗蚀剂层 6 内的点 j。以此方法整个光刻图案 (层 19) 可同时转移而不是象用标准电子束光刻时的情况顺序地转移至晶片 - 抗蚀剂组件上。并且，构图层 19 的横向尺寸没有基本限制，而这意味着可在一次暴露中处理整个晶片。如果最优化电子 - 光系统连同平面电子发射器部件 1: 1 电子投射分挡器，可得到的最小细节 (“Mins - 最少”) 远小于  $0.15\mu\text{m}$ 。此外，通过整个晶片同时暴露，使这种平面电子束光刻的产出量是很大的。可有许多平面电子光刻的其它布置，图 10 中表示的布置是其中之一。

图 10 中表示的实施例的一个可能的替代表示在图 9 中。现在参看图 9，清楚地显示一个与参看图 10 的讨论中相同的基本准弹道电子发射器结构。在图 9 中表示的特定最佳实施例中，一个加速板 7 与电子闪烁器 17 结构插入在平面电子发射器结构 1、2、19、4 与晶片加光 - 抗蚀剂部分 6 之间。这种布置使平面电子投射系统能在真空 (区域 17、12 与 14 构成的所述电子发射器结构的真空封装) 下连续工作 (如果需要的话)，而待处理的晶片可放置在闪烁器 17 的上面。在真空工作给出一个更好的从发射表面至晶片的电子传输，且不必事先排空，增加了整个器件的产出量。如果图 9 中指示的空气间隙足够小，由于可保持光的散射最少，可减小最小细节 “Min - 最小” 的尺寸。

在现有技术节中提到的由本发明的一些发明者撰写的出版物

(H.Ahmed et al: “微光刻讨论会论文集”; Cavendish 实验室, 剑桥 1989) 中, 在图 11、12、13 与 14 中指明并实验论证了在实践中如何进行平面电子束光刻。公开了一个装置“实验用 1:1 电子投射分挡器”, 并清楚地论证了它的性能满足关于 IC 生产期间需要的光刻步骤的全部工业需要与要求。它的示意图表示在图 11 中。这里 20 是所述阴极 - QB - Sem - 阳极装配 (同图 10 中表示的布置结构中的零件 1、2、19 与 4 十分相似), 6 是带有沉积抗蚀层的晶片基底, 21 是 X、Y 位置桌面, 最后 22 是一对在阴极 - 阳极装配与晶片 - X、Y 桌面装配之间建立均匀磁场的亥姆霍兹线圈。在这个特别布置中, 阴极 - QB - Sem - 阳极装配相对于晶片衬底为负偏置, 晶片衬底保持接近地电位。发射的电子在建立的电场中从高的负电位向地加速。平行的电场与磁场以此方法形成一个 1: 1 电子 - 光投射系统, 把从阴极 - QB - Sem - 阳极装配 22 的底部表面上的一个特定点上出现的电子转移至抗蚀剂层 6 内的一个单点 (参看图 10)。

所述实验用 1: 1 电子投射分挡器的总图表示在图 12 中, 而一些晶片构图的实验结果表示在图 13 与 14 中。试验了正的与负的抗蚀剂, 在 0.1 秒数量级的典型暴露时间的情况下, 可容易地得到的最小细节 (图 8 中尺寸 “Min - 最小”) 在  $0.15\mu\text{m}$  范围内 (图 13 与 14)。图 13 中表示了整个被暴露与构图 (反复的试验构图) 硅衬底的一部分, 图 14 中表示了试验构图的详细结构, 清楚地证明了此原型仪器的  $0.15\mu\text{m}$  的最小细节能力。

### 例 3. 二维照明板

由于根据本发明的平面电子发射器的结构简单、坚固耐用、低功率损耗、低工作温度及二维性质, 所述平面电子发射器可方便地用于二维 (平面与非平面) 的照明源。

一个这种可能的照明板示意表示在图 15 与 16 中。这里平面电子发射器的基本结构 (阴极 1, QB 半导体 2 与阳极 4 用作平面电子源 (当在阴极与阳极之间施加一个合适的电压时) 将电子射入自由空间 FS)。这些电子在自由空间内被加速电极 7 加速并进入光发射层 3。能使产

生的光能从所述结构逸出的光透明板 13 (通常为玻璃板) (连同板 14 与 12) 构成整个装配的真空封装。

在另一个可能的布置中, 省略了光发射层 3 而用合适的气体与/或气体混合物充满自由空间 FS, 这时通过气体电离与荧光产生需要的照明。上述平面照明板的典型尺寸在图 16 中指出。“Dim1-尺寸 1”-照明板厚度可容易地在 1cm 以下; “Dim2-尺寸 2”可容易地为 m 数量级。

由于结构简单, 本发明也可用于非平面(图)二维照明源结构中。这种照明源的一个可能的布置示意表示在图 17 中。这里, 阴极 1、QB 半导体 2 与阳极 4 为同心的圆柱形层。QB 电子径向射入自由空间 FS, 在经加速板 7 加速后, 它们进入发光区域 3。发光的光通过透明的(玻璃)外壳 13 逸出。在此布置中, 也可省略发光层而用合适的发光气体充满自由空间。

#### 例 4. 半导体元件与器件

下面将只给出一个本发明在半导体元件/器件与集成电路制造领域内的一些典型应用的简要介绍, 这些必须只被看作为几个说明例子, 而决不应将它们看作为对本发明在涉及的本领域内的应用的一个限制。待举出的例子从可使用本发明的 4 个不同的主要类型(A 至 D)的半导体元件/器件中选出。

在这些例子中, 保留本发明的基本结构(阴极, QB 半导体与阳极), 尽管在某些应用中只利用准弹道电子在两个电极之间的特性而不利用它们逸入自由空间 FS(参看图 2)的能力。名称“阴极”与“阳极”将不总是使用以试图更多地使用半导体物理学的术语。这些 QB 半导体的电子传输特性同真空管中在阴极与阳极之间运动的电子的特性十分相似, 只不过现在不需要真空。从阴极发射的电子在室温下产生而讨论的整个器材可制成亚微米尺寸。以此方法本发明综合了真空管与全部现代固态半导体技术的所有优点。

#### 例 4A

##### A 类: 整流与电荷(信息)贮存

此类半导体元件/器件包括双极 p-n、p-i-n 二极管，晶体管及许多单极器件，例如 MIS（金属绝缘体半导体）二极管，CCD（电荷耦合器件），MIS 隧道二极管，MIS 开关二极管，IMPATT（碰撞雪崩渡越时间）二极管与 BARITT（势垒注射与渡越时间）二极管以及其它有关的渡越时间器件。

例：准弹道肖特基二极管

图 18 是一个根据本发明的一个典型的快速平面肖特基势垒二极管。图中还显示了描述一个现有技术二极管 36 与一个 QB 半导体二极管 37 的等效 RC 电路 36 与 37（参看 US5627479 与 EP672257B1）。

现在参看图 18，二极管电流  $I_{\text{diode}}$  受耗尽电阻  $R_d$  控制，而  $R_d$  由耗尽区  $W_d$  的延伸确定。此耗尽区长度（宽度） $W_d$  同肖特基电接触之间施加的电压  $V_{so}$  成指数关系。通过由  $V_{so}$  控制  $W_d$  得到整流作用，依次引起  $R_d$  的指数关系的强烈变化从而控制二极管电流  $I_{\text{diode}}$ （正向与反向的二极管电流）。由于在高电场下没有电子速度饱和，因而在高频应用中不需要减小总尺寸  $L$ ，尤其是耗尽区的前面与欧姆接触之间的距离  $L_{so}$ 。根据本发明的准弹道肖特基二极管可在较高频率下工作且其特征在于可通过在图 18 的 37 中并联  $R_{qb}$  与  $L_{qb}$ （准弹道电子的动态电感）而有较简单的结构与很低的功率损耗。

例 4b

B 类：光敏与发光器件

这类半导体元件/器件包括 LEDs（发光二极管），光敏二极管，半导体激光器，雪崩二极管及用于光至信号转换目的的其它光电导器件。

例：准弹道光敏二极管与准弹道发光二极管

图 19 中表示一个简化的能带图说明根据本发明的一个准弹道光敏二极管（A-标记）、一个准弹道发光二极管（B-标记）与一个第一级信号检测/放大/空间放大器件（C-标记）的物理原理与一个可能的结构（最佳实施例）。下面将依次讨论这些器件。

准弹道光敏二极管（图 19 中过程 A）

光信号（进入光）被吸收在阴极区域（表面 S1 与 S2 之间的区域

- 图 19) 与位于接近表面 S2 的 QB 半导体内的一个薄区域内, 以此过程形成许多电子-空穴对(图 19 中标记“Exc1”的过程)。然后光激励的电子形成准弹道电流  $I_{bal}$ , 被加速并通过表面 S5 进入雪崩倍增区域 AMR。雪崩倍增过程 AM 导致一个放大的电流信号  $I_c$  与  $I_h$ 。在某些应用中可省略雪崩倍增区域 AMR, 来自光子-电子转换的电信号(“Exc1”)通过产生的准弹道电子的加速而得到充分放大。

根据本发明的所述准弹道光敏二极管有高的量子效率与相对很低的功率损耗, 因而当需要二维光图象(信号)检测与处理时可以一个二维光传感器阵列的形式制造。

#### 准弹道发光二极管(图 19 中过程 B)

在发光二极管情况下, 电信号(阴极与阳极之间的偏置电压)如果需要也可时间调制(光-电子应用), 控制进入 QB 半导体区域 QB-Sem 的注射电子数量(图 19 中过程“Exc2”)。在加速之后, 当通过 QB-Sem 区域运动时, 这些电子(图 19 中电流  $I_{bal}$ )通过表面 S5 进入发光区域(LEP)并通过跨越能带隙  $E_g$  的重新组合过程形成光子流(参看图 2 与图 19 中的过程 B)。此光子流(如果阴极-阳极交流偏置电压  $\Delta Q(t)$  与时间有关, 也可时间调制)最后注入自由空间 FS。

当电子注射过程“Exc2”具有足够强度且发光区域 LEP(正常为重 P 掺杂)满足粒子数反转的必要条件时, 上述器件将起准弹道半导体激光器的作用, 具有低功率损耗、高效率并通常可十分有效地用于光-电子应用, 例如光纤信号传输与远程通讯。

#### 光图象检测与处理(图 19 中过程 c)

在某些应用中, 以电子-光方式处理通过过程“Exc1”与/或过程“Exc2”形成的准弹道电流  $I_{bal}$  将是必要的与/或有利的。在这种情况下, 界面 S5 与 S3 之间的区域正好是准弹道半导体区域 QB-Sem 的延续部分, 如图 19 中所示。在穿过阳极区域之后, 这些准弹道电子通过表面 S4 射入空间 FS 作为可进行电子-光处理的电子发射电流  $I_{em}$ 。例 4d 中将描述一个这种类型的器件。

#### 例 4c

### C 类：放大与固定存贮器

本发明在此类半导体元件/器件中的应用也包括双极晶体管与双极单结晶体管，连同许多单极元件与器件，包括 EFTs（金属半导体场效应晶体管、MOSFETs（金属氧化物半导体场效应晶体管）与固定存贮器。此类中与本发明特别有关联的是隧道晶体管、TEDs（转移电子器件）与其它弹道（热电子）晶体管与/或器件。

#### 例：准弹道晶体管

图 20 是一个典型的平面金属半导体场效应晶体管（MESFET）示意图。源极与漏极之间的电流  $I_d$  受电压  $V_g$  通过改变有效耗尽区宽度  $W_d(V_d)$  控制。“a”是衬底半导体 SEM 的电有效部分，“L”是导电沟道长度，“L”是器件的宽度。当要求快速性能时，沟道长度必须足够缩短（ $<1.5\mu\text{m}$ ）而典型的工作电压  $V_{ds}$  建立源极与漏极之间的高电场。这时电荷（电子）速度变为饱和（达到与电场有关的迁移率范围），而这将限制所述器件的工作速度。

为使论述简单与清楚起见，即使如图 20 中所示的所述 MESFET 晶体管的几何设计保持相同，当这种 MOSFET 晶体管按本发明构造时，上面提到的 2 个设计约束（小的几何尺寸与电子速度饱和）将不存在。给出如图 20 中所示的器件构成，这包括单纯由准弹道半导体 QB-Sem 取代标准的半导体衬底 Sem（参看图 20）。

根据本发明并在图 20 中表示的 MESFET 器件，其特征不仅在于快速响应（高频响应），而且在于很低的功率损耗，因为源极-漏极电流  $I_d$  为准弹道性质。

这里必须再次强调，图 20 中表示的 MESFET 晶体管的设计结构只是放大/开关器件的大量可能中的一个。由于本发明的性质，其它更佳的设计是可能的并应当理解，这些设计将吸收真空管的某些设计特点（参看上述 K.W.Boer 的出版物第 1237 页）。

对于此类内根据本发明的金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）、固定存贮器 MOSFETs 与其它器件的结构，有与上面对 MESFET 晶体管讨论中相同的与/或十分相似的论据。所有这些器

件的特征在于设计简单、坚固耐用、高响应速度与很低的功率损耗。

#### 例 4d

##### D 类：光图象的检测、形成与处理

由于本发明的二维性质，可进行大面积的光信号的检测、转换与处理。以电磁场辐射为例，本发明可用于许多方面：

- 将记录的电信号（电记录的光图象）转换回二维图象/信号（准弹道半导体场发射平板显示器 - 参看例 1）。

- 将二维光图象转换为电信号（准弹道半导体摄象机）。

- 二维光图象检测，结果电信号放大，继之以二维光图象空间放大及最后二维光图象记录。这种光图象处理的结果仍是原始的二维光图象，但对比度/亮度放大且空间放大。

后两个方面在光图象检测、形成与处理中都使用电磁场辐射的二维检测阵列。这包括可粗略地定义为本发明的两个基本应用：

a) 准弹道半导体摄象机（二维光图象/信号至电信号序列的转换）。

b) 一个用于二维光图象/信号的亮度/对比度放大与空间放大的系统。

本段中将叙述 QB 半导体摄象机 a) 与光图象/信号处理 b) 的一个简要说明。为简单与清楚起见，在说明这二个应用时，假定光信号采取由来自电磁辐射频谱的可见部分内的光子形成的二维图象形式。当然无论如何不能把这个假定看作是针对本发明及它在此类应用中应用的一个限制因素。待检测/处理的光信号很可能由来自电磁辐射频谱的其它部分内的光子形成，它也可能是一个由其它粒子形成的信号。光图象的空间尺寸也可从 0 至 3 变化。最后，下面提供本发明的 2 个应用例子的特征，纯粹用于说明/讲授目的，不能把它们看作是对本发明在此领域内应用的一个限制因素。

##### a) 准弹道半导体摄象机

图 21 是一个根据本发明的一个用于检测与记录二维光信号/图象器件的示意图。在此最佳实施例中，QB 半导体夹在阴极 1 与阳极 4 之间。2 个电极都按类似于图 5 中所示的 X、Y 构图的方法构图。金

属阴极、QB 半导体与阳极构成一个肖特基势垒光敏二极管的二维阵列，它能被逐一地与顺序地寻址，如图 5 中所示（象素二极管  $i, j$ —接通）。

光图象围绕表面 S2 形成，经过转换与处理，借助于所述器件，以下列方法确定电信号的时序：形成光（电子）的光图象进入图 21 表示的所述结构通过合适的色彩过滤器 R（红色）、Y（黄色）与 B（兰色），然后被吸收在包括阴极—QB 半导体界面与 QB 半导体耗尽区的区域内，在这个过程中产生许多电子—空穴对。

通过在阴极条“ $i$ ”与阳极条“ $j$ ”之间施加合适的电压“接通”一个特定的象素二极管（ $i, j$ ）（图 21 中带有黄色过滤器“Y”的二极管），产生的准弹道电子在 QB 半导体区域 QB—Sem（图 21）内被加速，且如果需要的话可进一步由雪崩倍增区域 AMR（图 21）内的雪崩倍增作用加以放大。由此得到的电流脉冲形成电子信号，该电子信号与碰撞在图 21 中所示的象素（ $i, j$ ）上的“黄色”光子的光强度有关。

所述器件（QB 半导体摄象机）的总厚度（Dim2—尺寸 2）在几个 mm 范围内，而所述器件的有效面积（横向尺寸 Dim1—尺寸 1）在现代技术下可达约 30cm 数量级。高量子效率、高空间分辨率、坚固耐用与结构简单正是根据本发明提出的器件的几个有吸引力的特点。

#### b) 光信号/图象处理器件

在许多应用（例如无文物理学、红外图象及其它）中，必须检测、处理与记录十分微弱的二维光图象，并带有关于高空间分辨率/放大与/或关于可提取的光谱信息的附加要求。满足这些要求的根据本发明的可能的装置之一示意表示在图 22 中。它包括两部分，部分 A 是二维光图象/信号放大部分，而部分 B 是二维光图象/信号的空间放大部分。

在初级光图象平面 25 内形成光图象的进入光子被吸收在阴极、界面 S2 与 QB 半导体耗尽区的区域内，如图 21 中示意表示，以此方法产生许多电子—空穴对。其数目取决于进入光子的能量（能谱信息）与进入光子的数目（信号强度信息）。初级光图象平面内产生的准弹道电子在 QB 半导体区域 QB—Sem 内被加速（一次放大），并由于它们

的特性它们能通过表面 S4 而离开基本平面电子发射器结构（阴极，QB 半导体与阳极）。与此同时它们同样以此方法在初级光图象平面内形成一个原始光图象的电子-光图象。

在这个光子至电子的转换（光子进入-电子空穴对输出）与一次放大（产生的电子在 QB-Sem 区域内加速）之后，得到的在表面 S4 的平面内形成的电子-光图象可通过合适的电子透镜（未表示）作进一步处理。它借助于加速电极进一步放大（二次放大），且如果需要的话，还可进行空间放大（电子-光一次空间放大）。

这个经空间放大与光强度放大的电子-光图象借助一个合适的电子闪烁器 17 往回转换至二级光图象。然后此二级光图象的平面 26 变为最后的光放大系统 29 的目标平面以保证原始光图象的二次空间放大。在部分 A 内经过信号/强度放大与在 29 内经过空间放大的最后光图象在最后光图象平面 27 上形成，准备好由合适的光记录器件 28（摄象板或 CCD）进行记录。取决于要求的空间分辨率，整个装配（部分 A 与部分 B）可在初级光图象平面内横向移动。

最后应指出由于构成器件的部分 A 底部的基本平面电子发射器的特性，所述平面电子发射器连同在自由空间区域 FS 内的电子-光部分可用作一个分光镜器件，提取关于初始光图象内光子能谱的必要信息。

#### 例 5. 光致电压应用

由于准弹道电子很少的非弹性散射与很低的重新结合率，根据本发明的肖特基势垒二极管是一种高效的光电导体，它在光致电压应用中的用途是显而易见的。图 23 中示意表示根据本发明的太阳电池的可能的结构之一。

所述器件由 QB 半导体层 2 夹在 2 个电极-阴极 1 与阳极 4 之间构成。阴极与 QB 半导体构成一个肖特基整流接触，而阳极与 QB 半导体构成一个欧姆接触。当以此方法（使用一个 P 型 QB-Sem）构造时，因为建立动态热平衡而发生的电荷转移引起的所述器件内的内部电场  $E(X)$ ，具有图 23 下部分表示的分布图形。

日光从左边（图 23）进入所述器件（根据本发明的太阳电池）通过阴极而被吸收在结构内，每个进入的光子产生一个电子-空穴对。空间上分开的吸收过程可分为 3 类。过程 D 是在阴极与 QB 半导体之间的界面处电子-空穴对的产生过程。过程 E 是在 QB 半导体的耗尽区内电子-空穴对的产生过程而过程 F 描述在 QB 半导体基本部分（内电场为 0 的 QB-Sem 区域）内吸收光子产生电子-空穴对的过程。由于在 QB 半导体内存在准弹道轨道，QB 半导体的耗尽区内特别产生的电子的大多数将被耗尽区  $W_d$  内存在的内部电场向阳极方向加速而不重新结合与/或非弹性散射。这个效应明显地提高了所述太阳电池的量子效率。通过使有效部分范围延伸最小与适当选择阴极材料（例如透明导电的氧化锡）优化器件结构，根据本发明的太阳电池提供一个具有大的有效面积的效率很高、结构简单与坚固耐用的光至电能的转换器材。

#### 例 6. 电子冷发射显微镜

在使用这里称为电子冷发射显微镜（ECCM）进行“未掺杂”半导体晶片中的缺陷与/或弱点探查的领域内有一个潜在的十分重要的本发明的应用。参看图 24 讨论这个器件。

在标准的电子发射显微镜中，待探查的样品被加热至当热电子发射变为确定时的温度。这些电子通过一个表面脱离样品，接着经过电子-光处理以形成一个高空间分辨率的部分表面（通过它电子射入真空）的电子光图象。但是，由这类电子显微镜能提取的关于受探查样品的信息局限于表面与正好在表面下的几个单层材料。这是因为在这些条件下电子（具有足够能量以逸入真空）的平均自由程是极小的（远小于 50 埃）。

在根据本发明的实验方法提出的方案中，通过表面 S3 离开样品（图 24 中的 QB-Sem 区域）的电子已在表面 S2 处射入所述 QB 半导体，因而它们沿它们的整个准弹道轨道载有关于样品内样品状态的信息。任何瑕疵与/或缺陷（这些可能是一维、二维与/或三维多种形式）将引起电子的散射（与接着引起电子的热化）而离开它们的准弹道轨

道。这将在电子-光图象平面上产生一个投射式的对照。

图 24 中示意表示一个根据本发明的所述电子冷发射显微镜的可能最佳实施例。在这种情况下同样保留本发明的基本结构(阴极, QB 半导体, 阳极-参看图 1 与 2), 只是这时所述基本结构构成一个待探查的样品。而且如果 QB 半导体内能产生足够强度的电场且电子能通过表面 S2 射入 QB 半导体的话, 实际上不需要面向 QB 半导体表面 S2 与 S3 的金属电极。在这种配置下可无接触地进行未掺杂缺陷质量控制的全过程。这些注射电子沿它们的直线准弹道轨道运动, 而那些未被瑕疵、杂质、缺陷与/或其它不规则物偏转的电子将最后通过 QB 半导体表面 S3 射入真空。这些电子的表面密度、它们的能量与它们的发射角度是与精确的准弹道电子同表面 S2、同沿它们轨道的 QB 半导体基本部分及同表面 S3 的相互作用有关的参数(数量)。

然后由标准电子透镜 34 处理经表面 S4 的区段 32 射入的电子以形成在电子-光图象平面 30 内所述区段的高空间分辨率(经放大)的电子-光图象 33。

通过将 QB 半导体放置在一个高精度的 X、Y 台上, 可以此方法探查整个晶片达到一个典型的扫描电子显微镜的 10 至 50 埃的标准分辨率。

#### 例 7. 普通电子束源

虽然本发明(平面电子发射器)的主要目标在于需要与/或从所述发明的二维性质得利的应用, 本发明的特征(例如低的功率损耗, 简单的结构, 高的电子发射电流密度与室温工作)使本发明在更标准的电子束源中的使用同样十分有吸引力。可容易地制造点状的、构图的、准平面和普通形状的电子源, 这里将它们称之为“冷肖特基阴极”。它们的典型用途为用作阴极射线管(CRT)、X 射线管、电子显微镜的电子源, 包括用作蒸发、焊接、显象与可能的其它电子束应用的电子枪。

由于所有这些应用被看作为本发明的普通应用, 又因为它们已为众所周知, 且已在现有技术节中描述。因此这里将不作更详细的讨论。

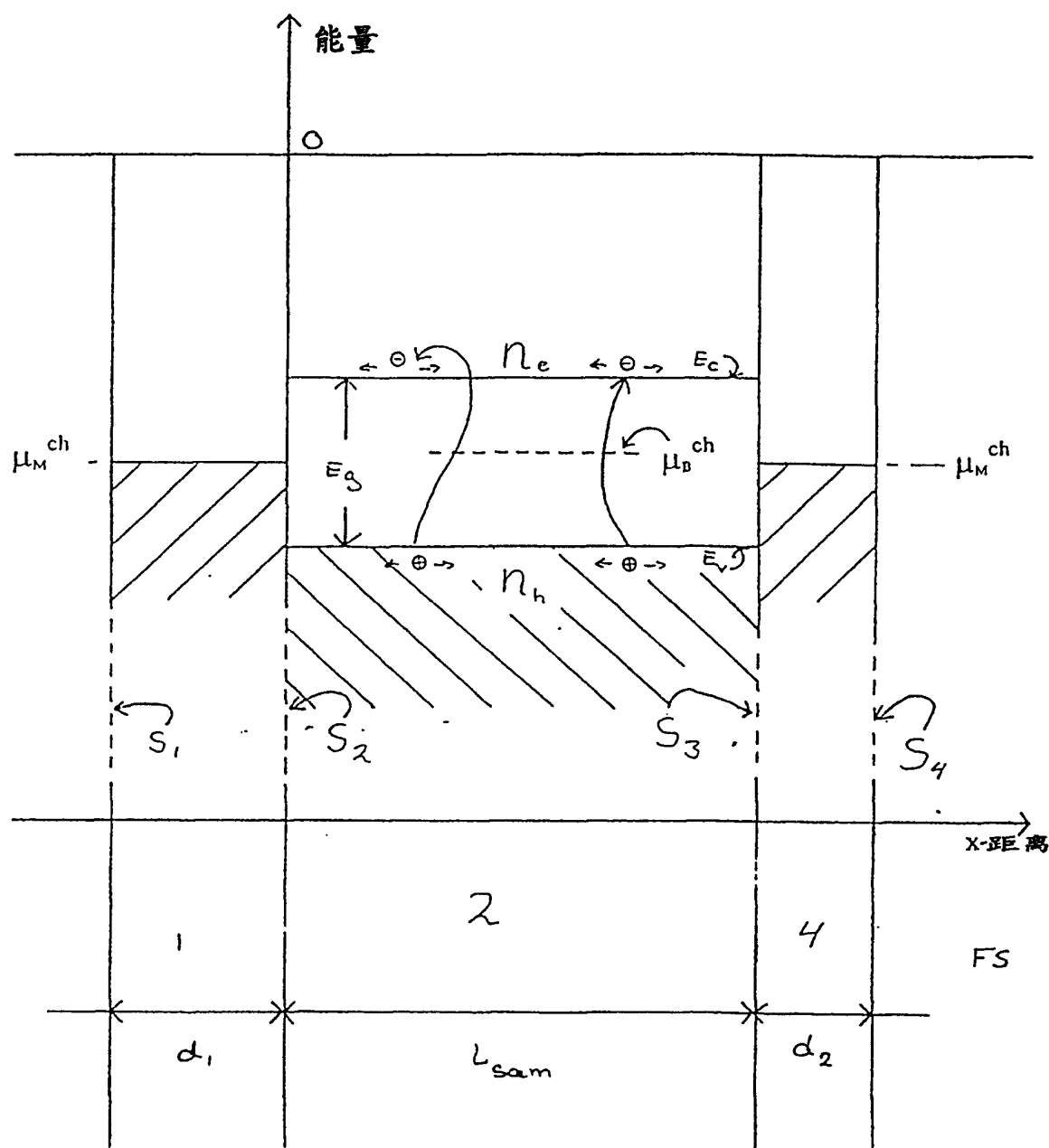


图1

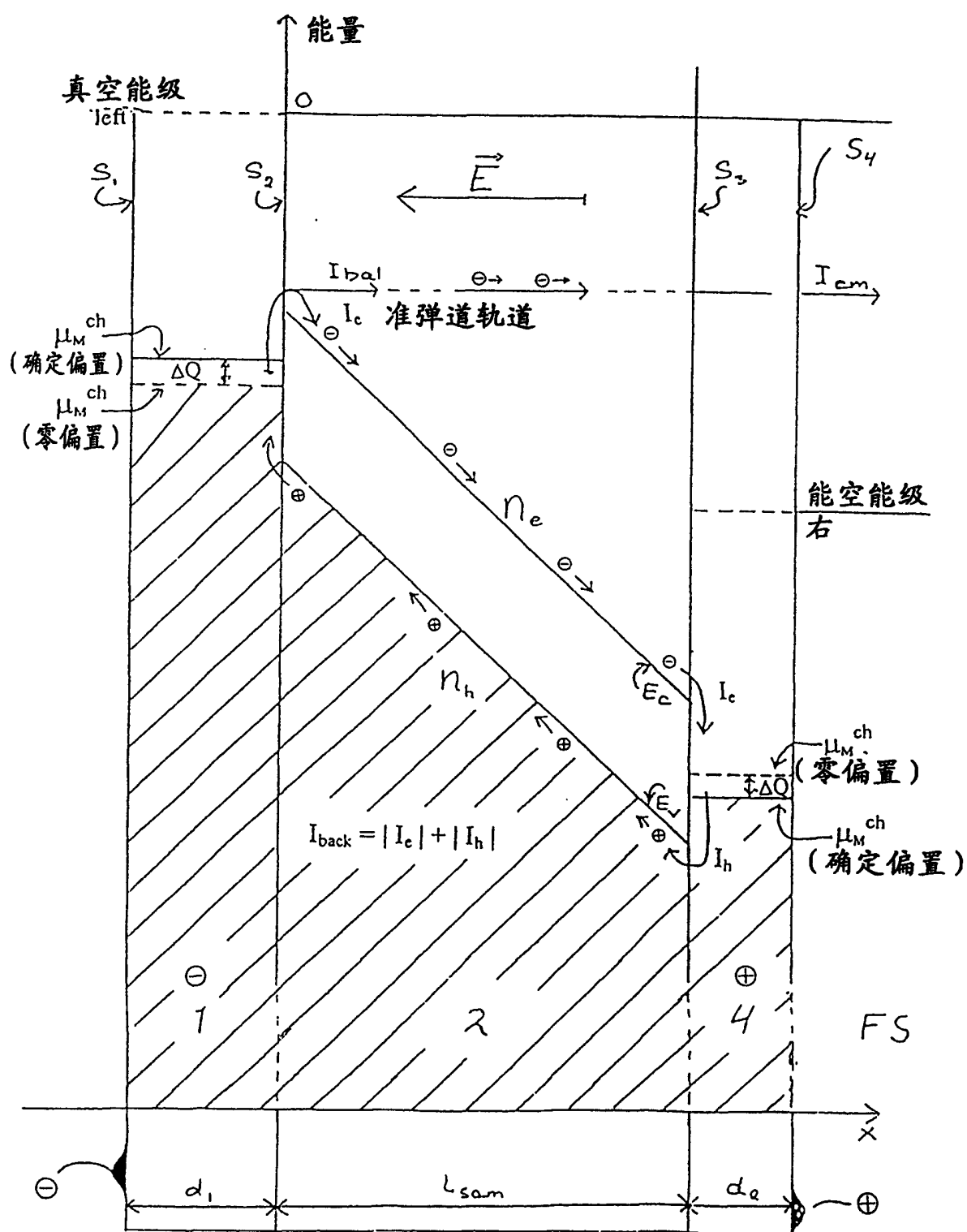


图2

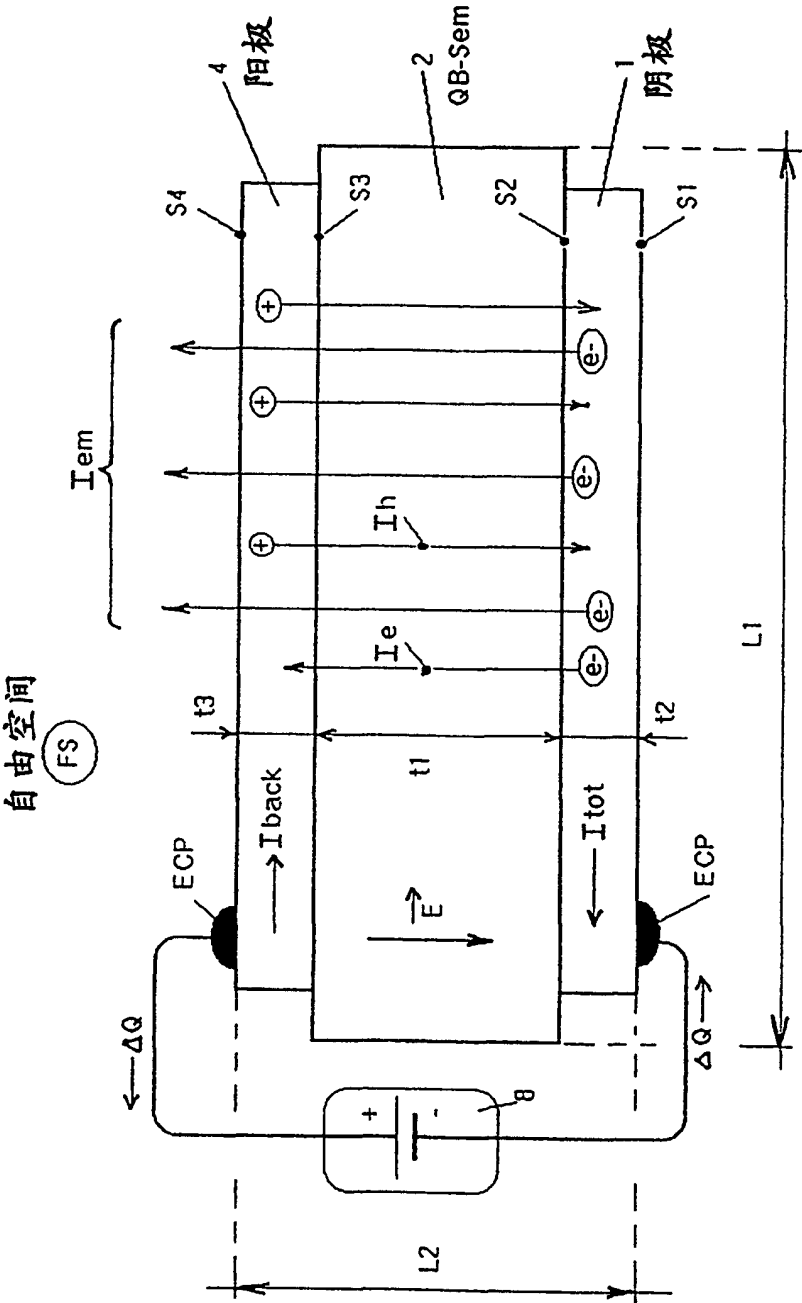
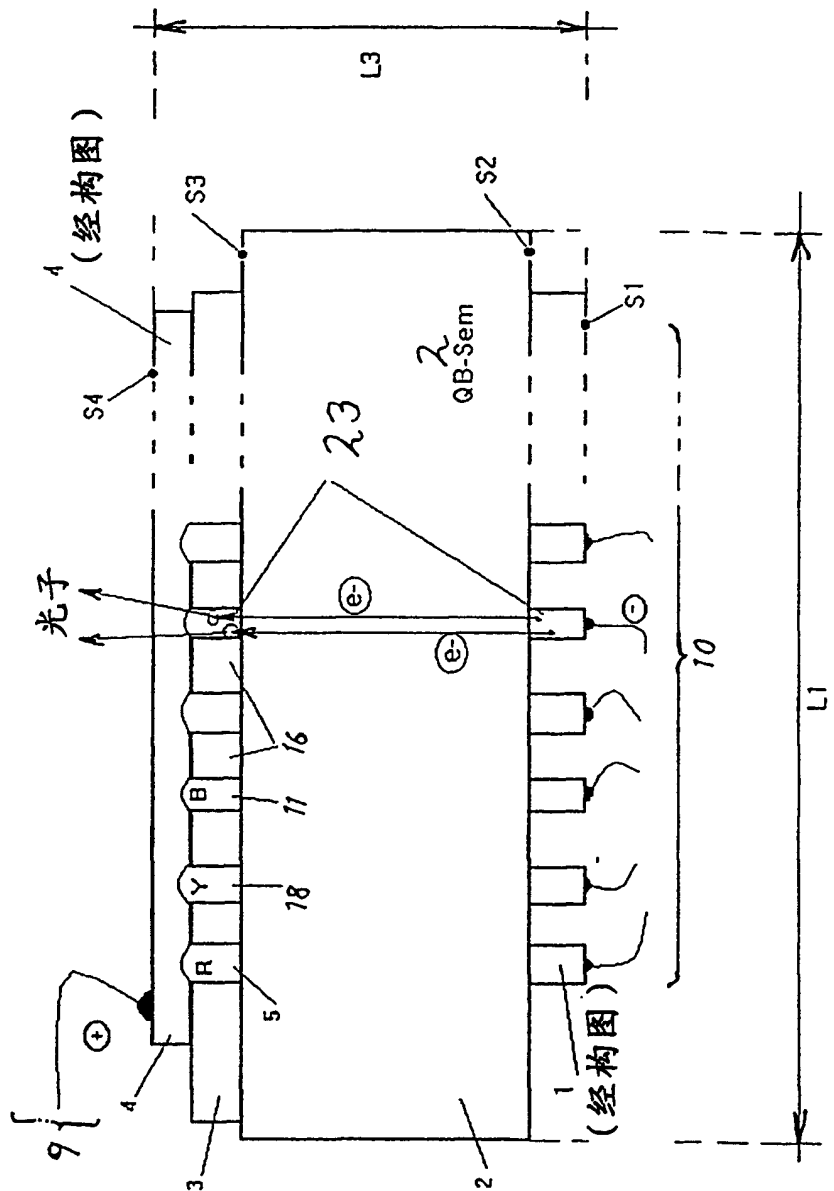


图3



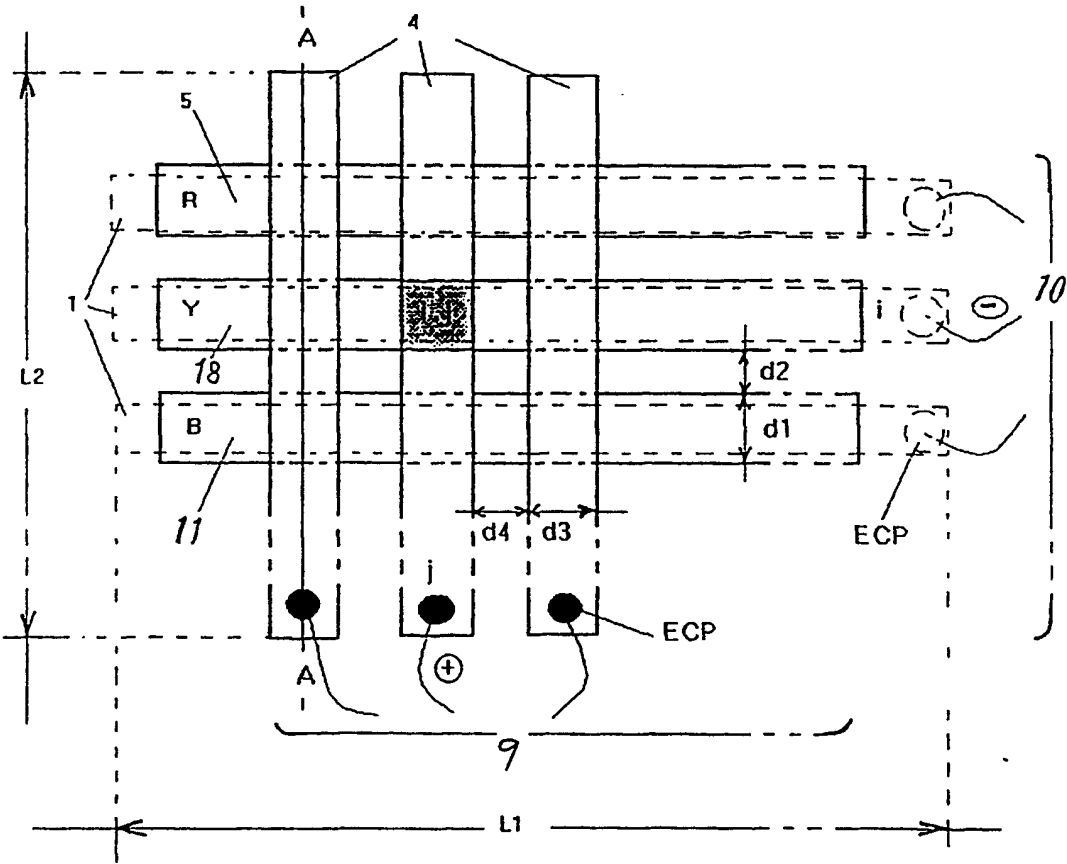


图 5

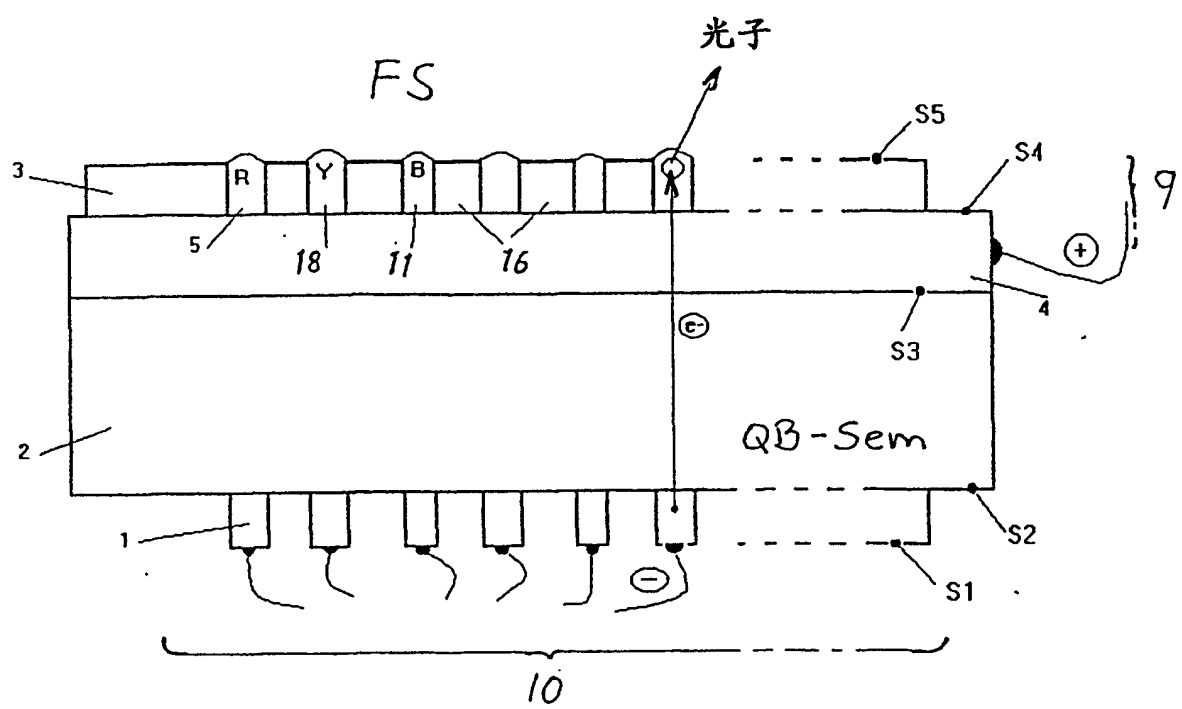


图6

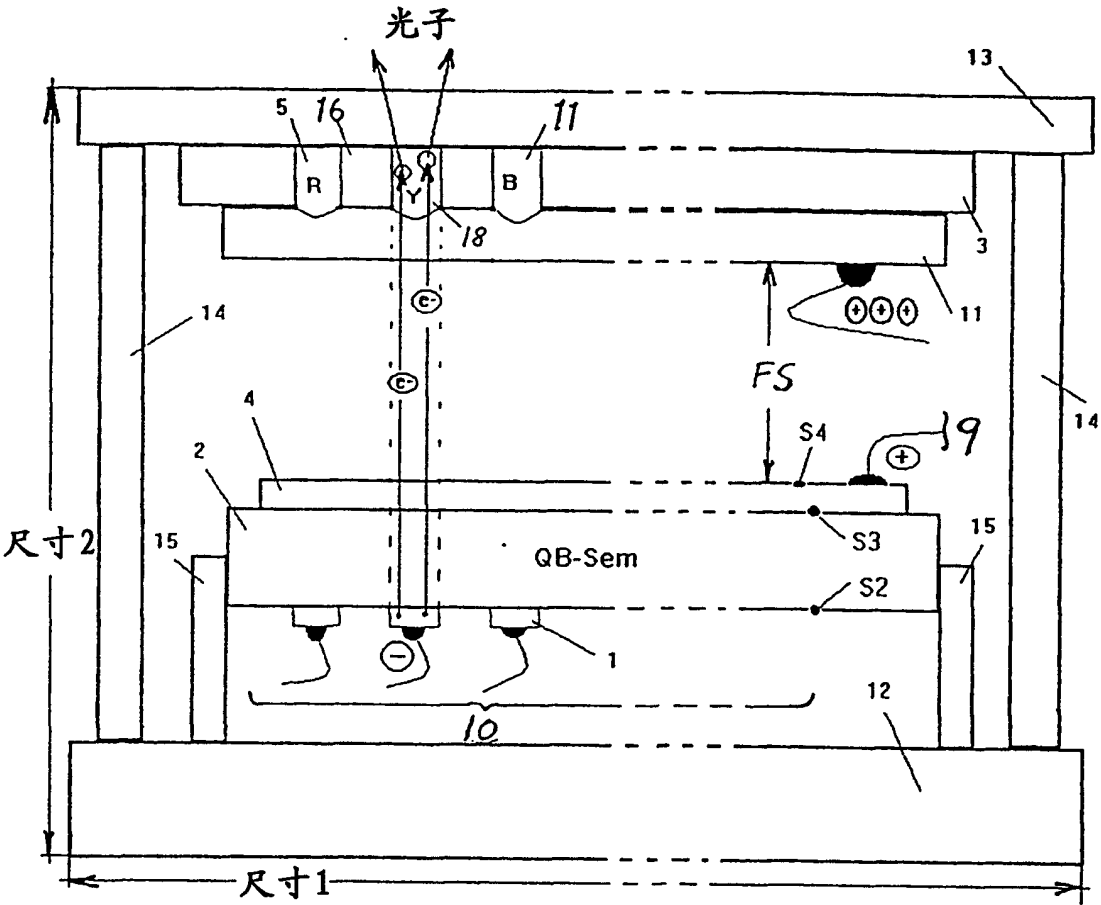


图7

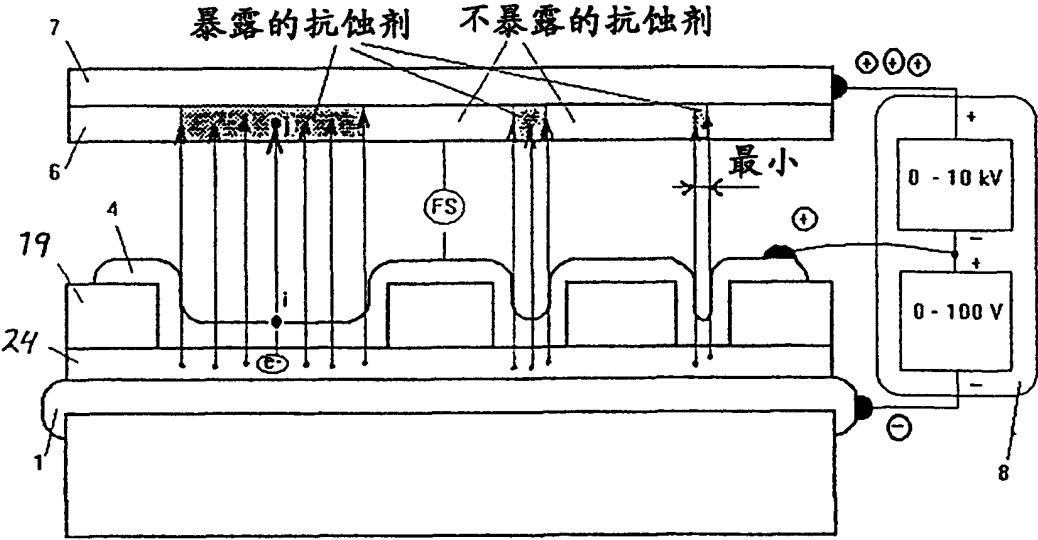


图 8



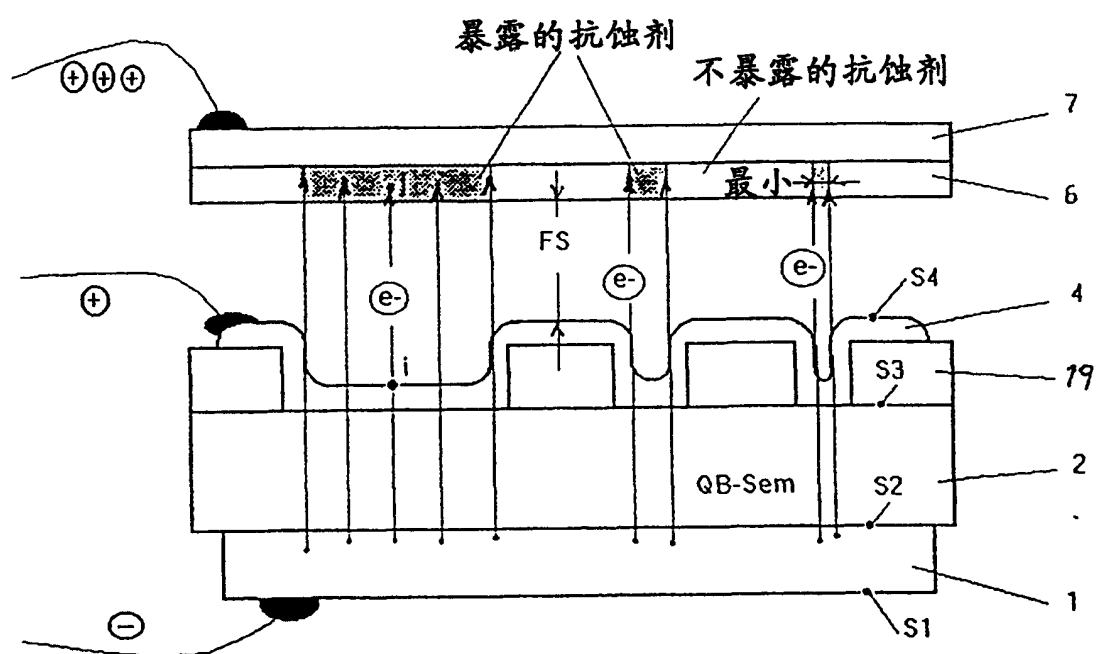


图10



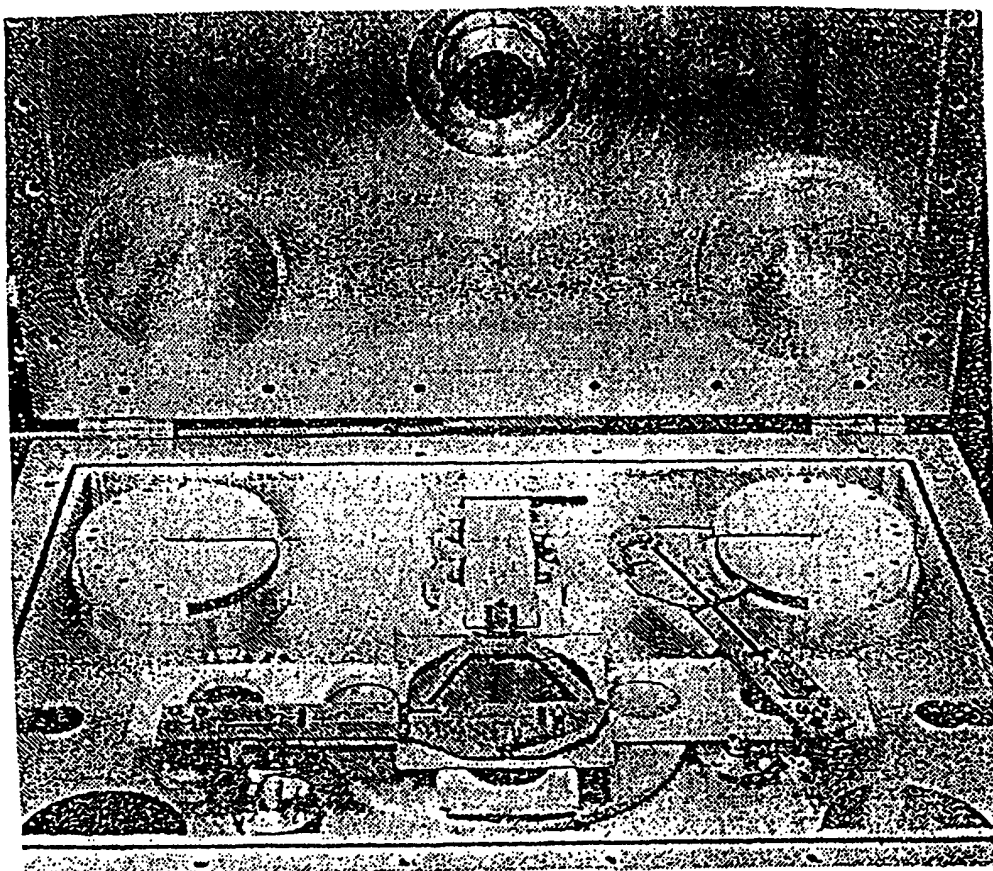


图12

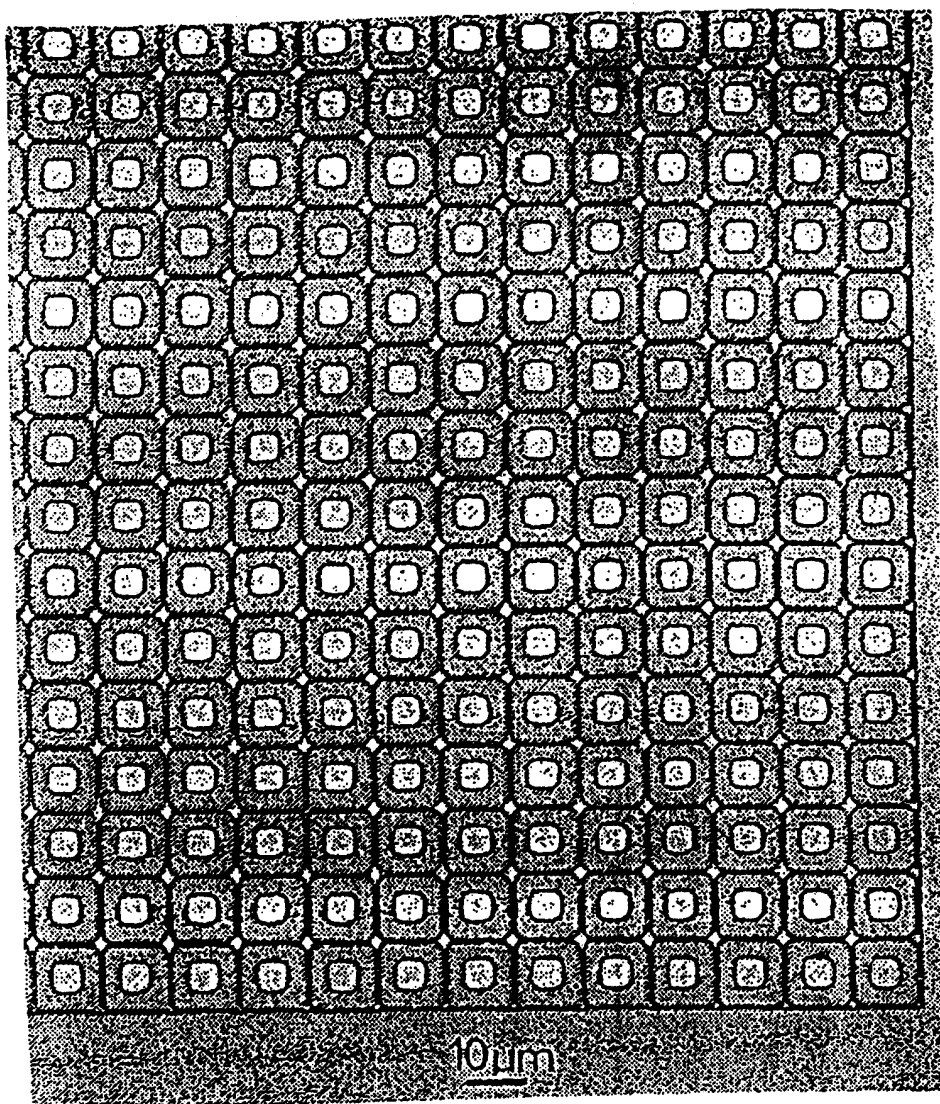
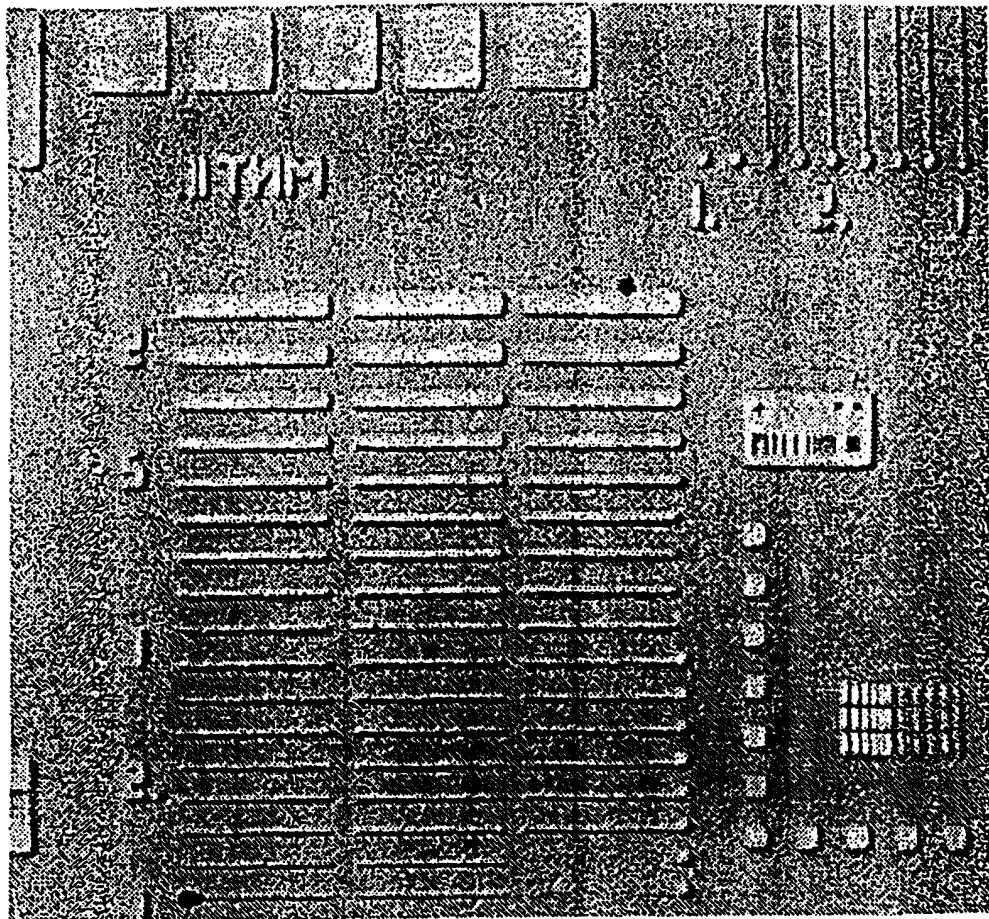


图13



0.15um 细节

图 14

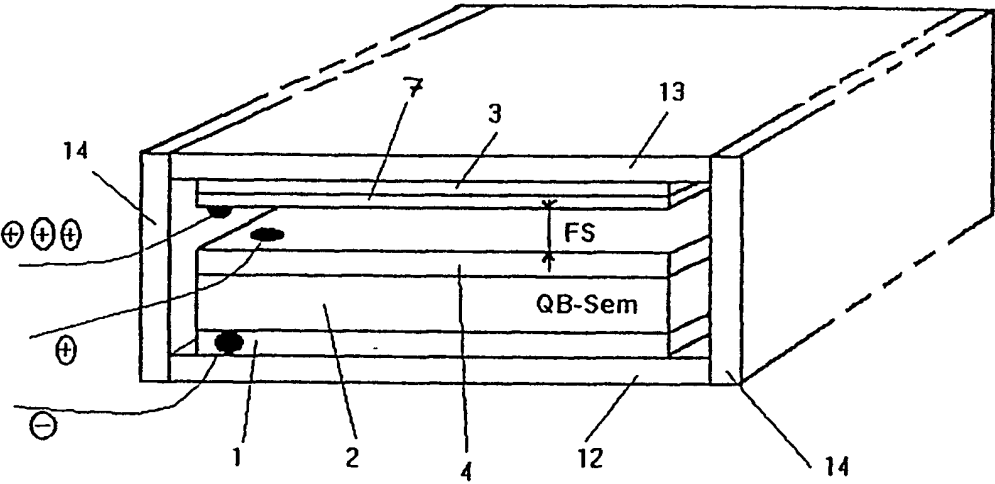


图15

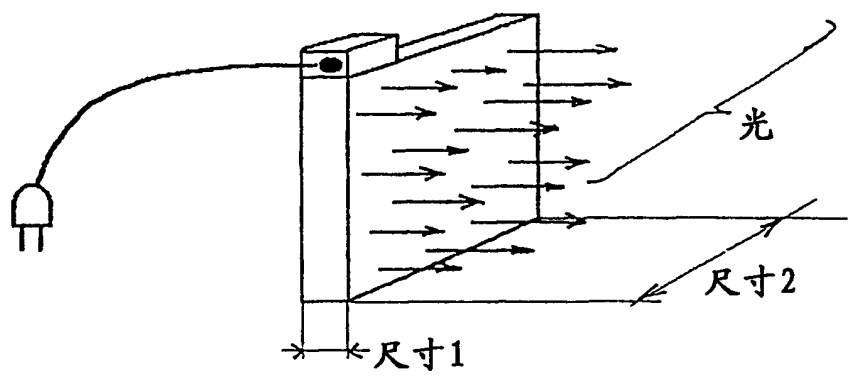


图16

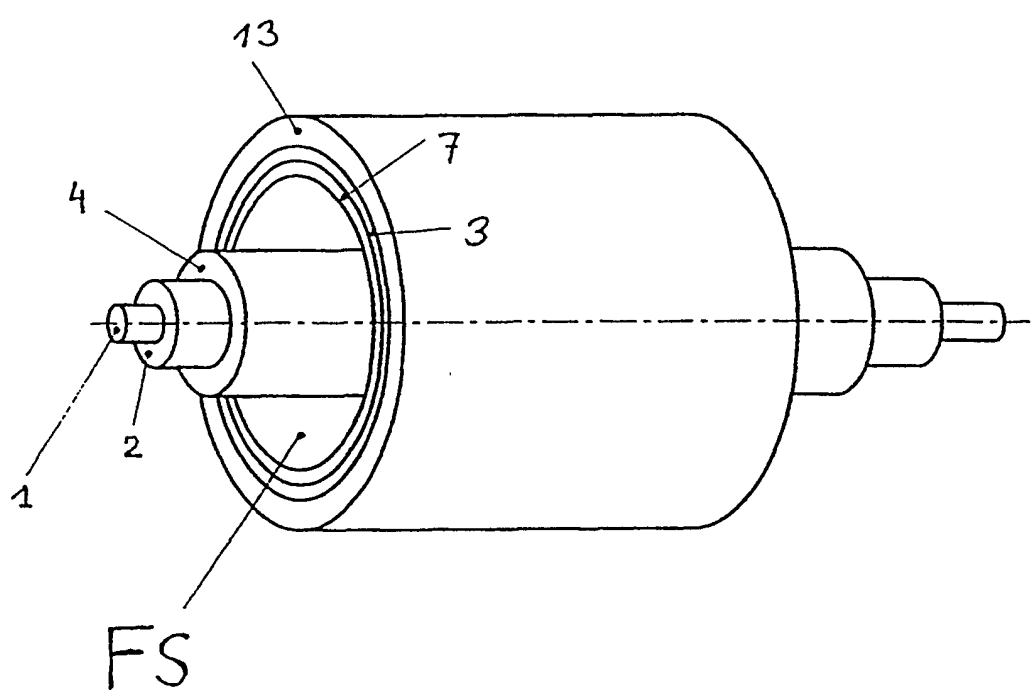


图17

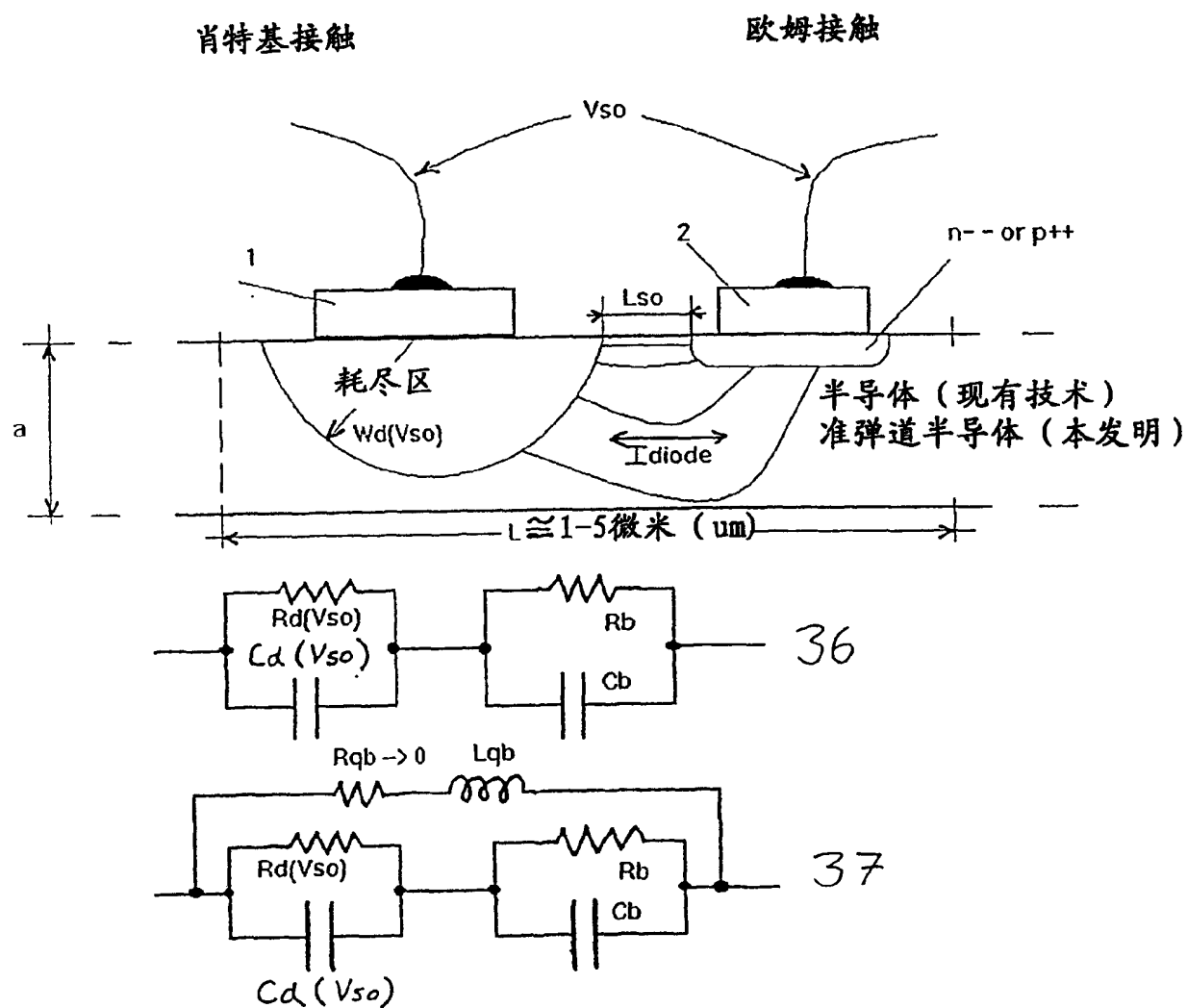


图18

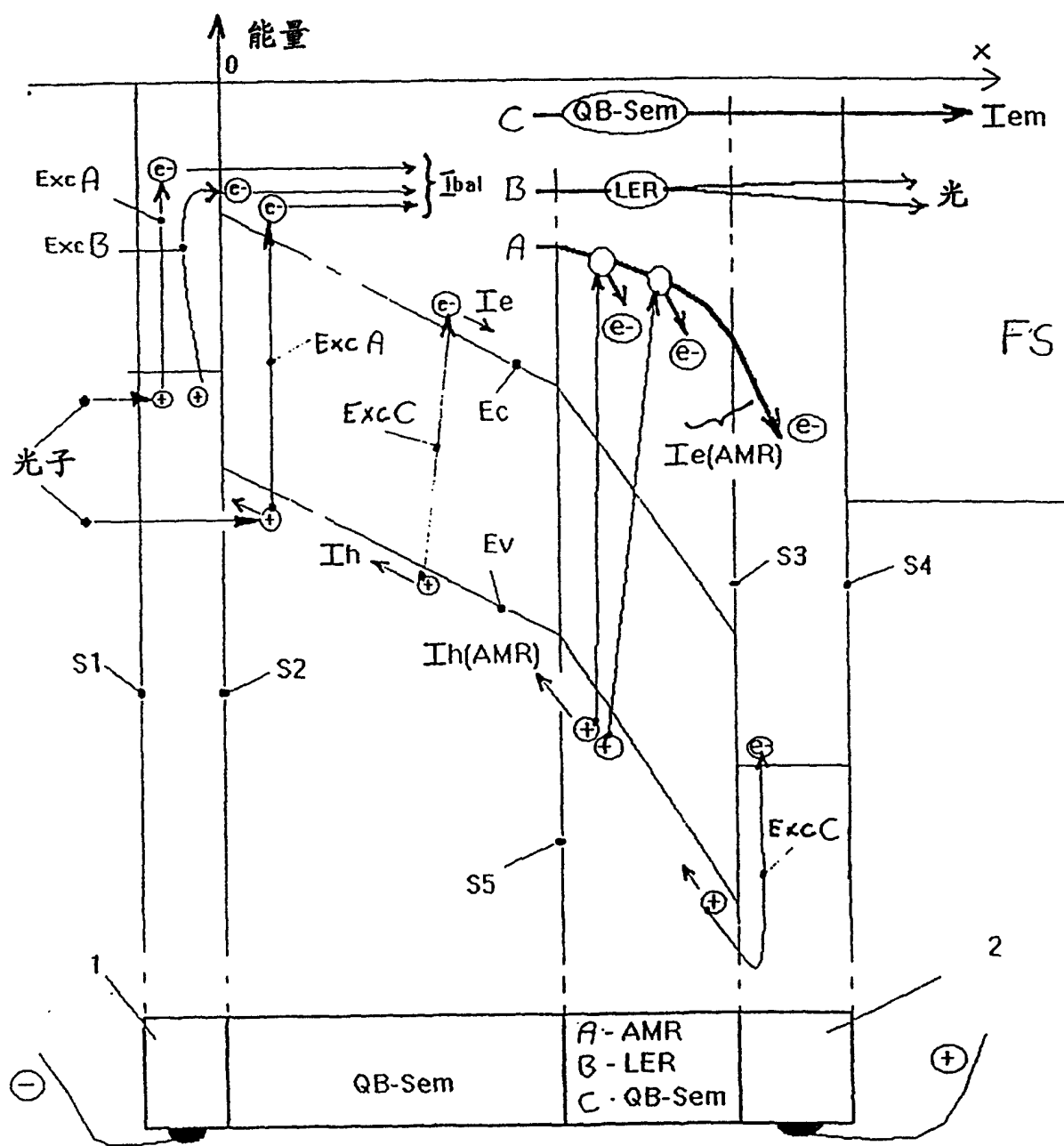


图19

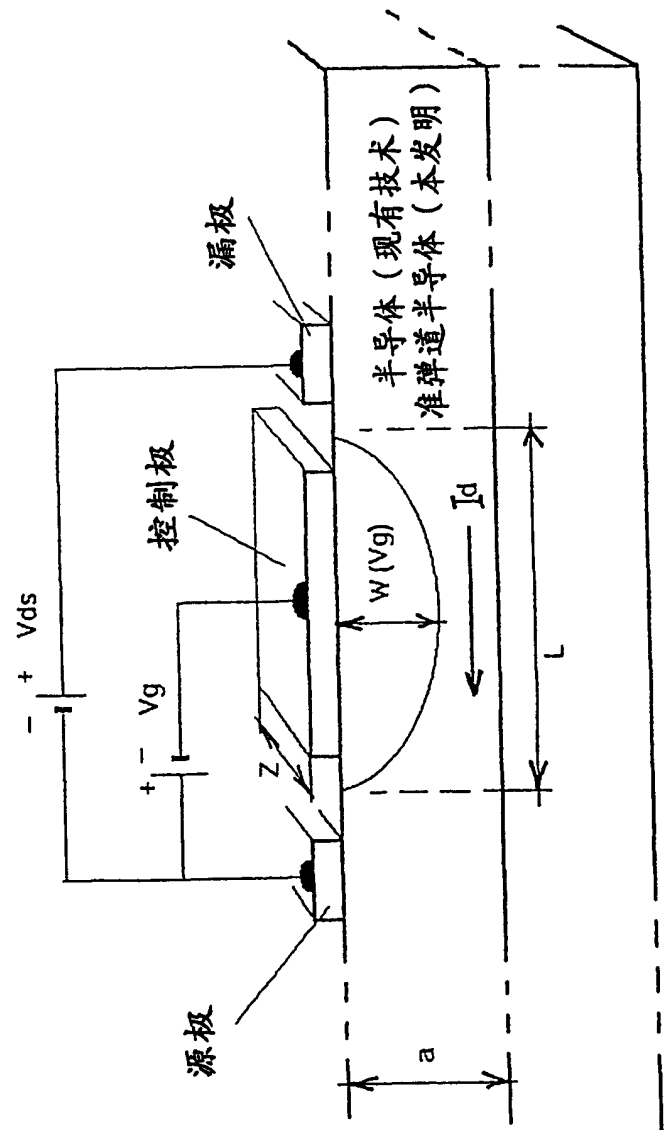


图20





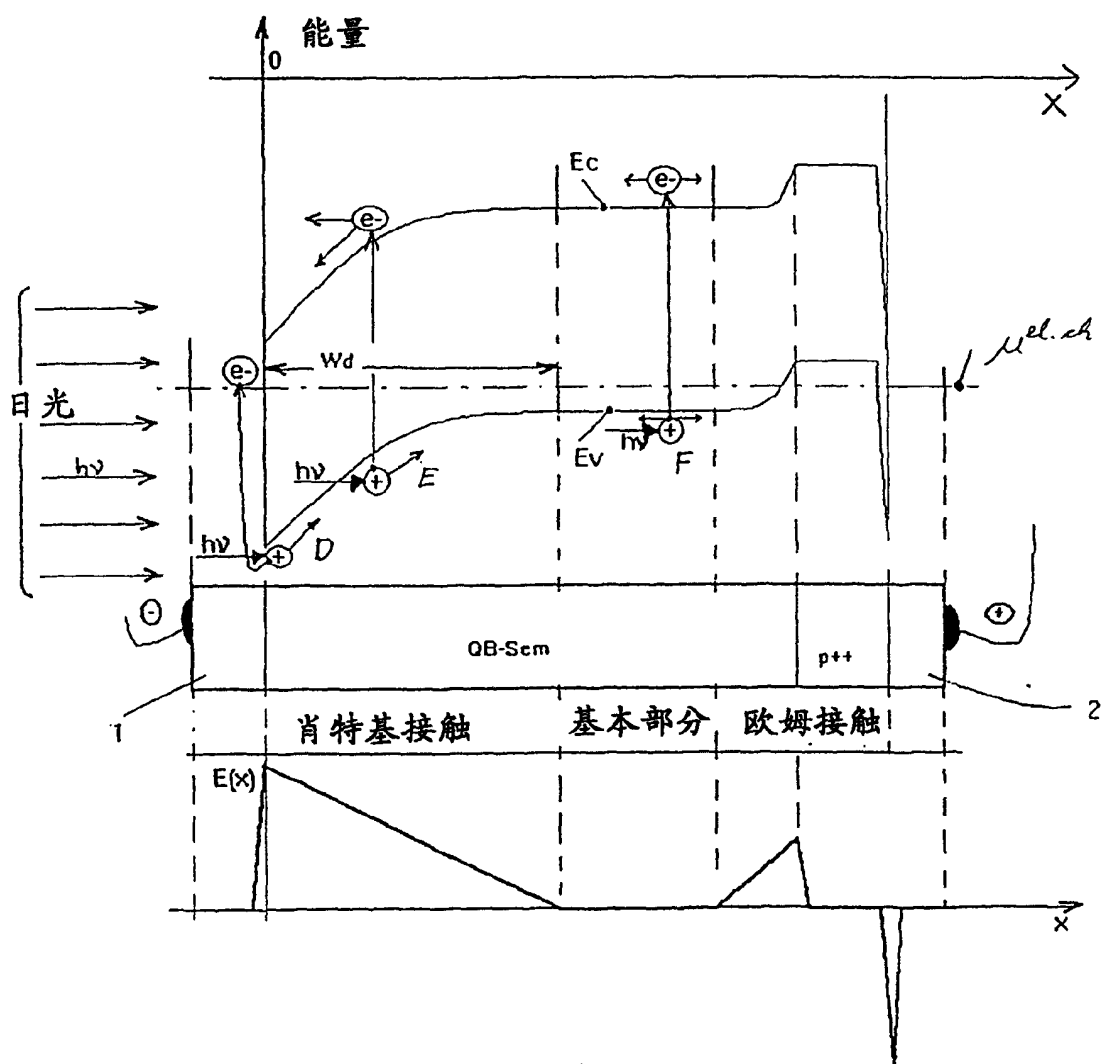


图 23

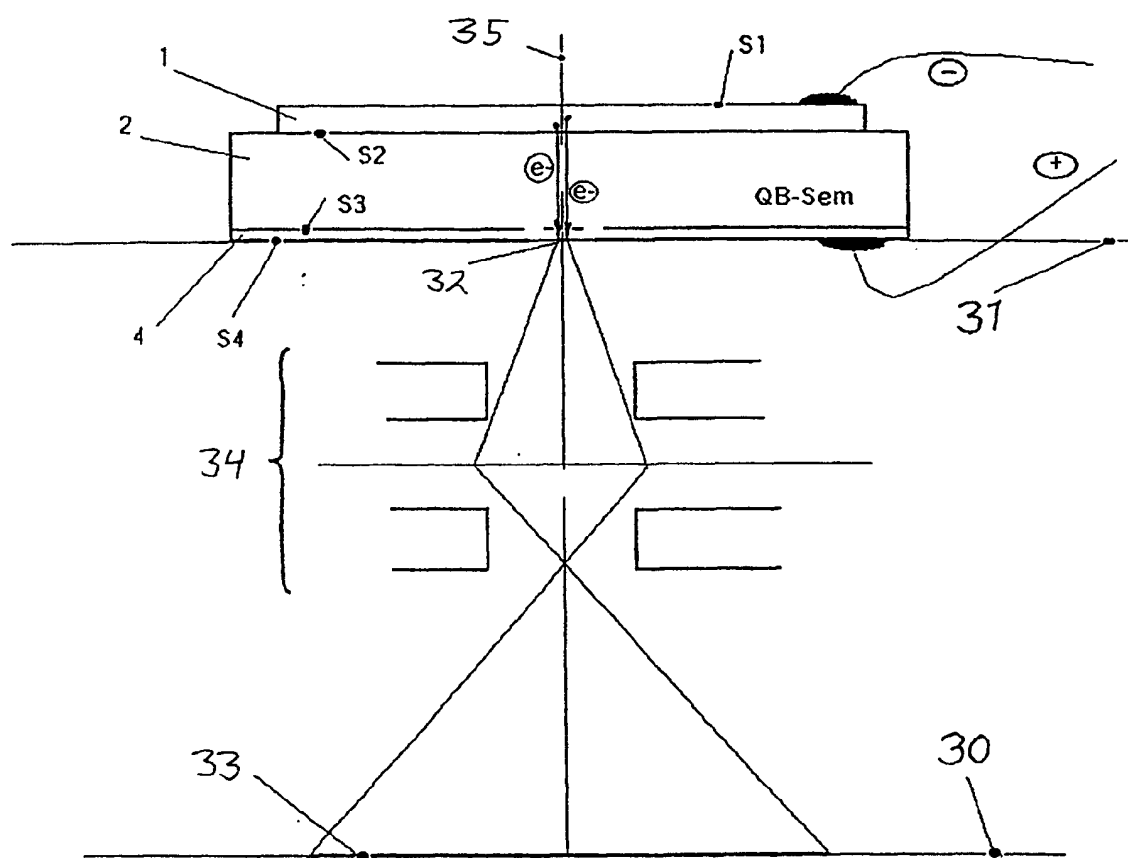


图 24