



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00137208.4

[43] 授权公告日 2003 年 6 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1111288C

[22] 申请日 2000.12.28 [21] 申请号 00137208.4

[71] 专利权人 复旦大学

地址 200433 上海市邯郸路 220 号

[72] 发明人 资 剑 乔 峰 张 淳 万 钧

胡新华 韩得专 李乙洲 傅利民

王 昕 许 春 吴颖灏 高 霞

王国忠

审查员 焦丽宁

[74] 专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司

代理人 姚静芳

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

[54] 发明名称 具有量子阱结构的光子晶体及其制备方法

[57] 摘要

本发明是一种光子晶体量子阱结构。本发明用两种不同的介电材料组成光子晶体，然后以光子晶体 A/光子晶体 B/光子晶体 A 排列制成光子晶体量子阱结构。选择适当的结构和介电常数配比，使量子阱即中间光子晶体的光子能带结构与势垒区即两端光子晶体的能带结构不同。由于两种光子晶体的光子能带结构不同，光波的传输特性可以得到调制，出现许多新的物理现象。

1. 一种量子阱结构的光子晶体,由介电材料周期排列而成,其特征是两种介电材料按照一维、二维和三维周期排列而构成一维、二维和三维光子晶体,光子晶体按照光子晶体 A/光子晶体 B/光子晶体 A 排列,两种介电材料所占的空间之比是 0.05-0.95。
2. 根据权利要求 1 所述的量子阱结构的光子晶体,其特征是该光子晶体量子阱结构的工作频率范围是从紫外到微波。
3. 根据权利要求 1 所述的量子阱结构的光子晶体,其特征是制备光子晶体 A 的两种介电材料的重复周期是 3~50;制备光子晶体 B 的两种介电材料的重复周期是 1~50。
4. 根据权利要求 1 所述的量子阱结构的光子晶体的制备方法,其特征是用镀膜方法将上述范围的介电材料按光子晶体 A/光子晶体 B/光子晶体 A 排列的顺序镀膜,制得一维光子晶体量子阱结构。
5. 根据权利要求 1 所述的量子阱结构的光子晶体的制备方法,其特征是在微波波段使用的该结构用机械钻孔或人工搭建方法,在红外和可见光波段使用的该结构用光刻方法将上述范围的介电材料按光子晶体 A/光子晶体 B/光子晶体 A 排列的顺序制得二维光子晶体量子阱结构。
6. 根据权利要求 1 所述的量子阱结构的光子晶体的制备方法,其特征是在微波波段使用的该结构用机械钻孔或人工搭建方法,在红外和可见光波段使用的该结构用光刻方法将上述范围的介电材料按光子晶体 A/光子晶体 B/光子晶体 A 排列的顺序制得三维光子晶体量子阱结构。

具有量子阱结构的光子晶体及其制备方法

本发明涉及由不同介电材料组成的光子晶体来构成光子晶体量子阱结构。

本发明内容基于光子晶体理论。光子晶体是八十年代末提出来的新概念和新材料 (Phys. Rev. Lett. **58**, p. 2059, 1987), 其基本思想是: 同半导体中的电子一样, 光波或电磁波在周期性的介电结构中传播时, 由于周期结构带来的影响, 也会形成能带结构, 即光子能带; 带与带之间可能存在带隙。如果光波的频率正好处在带隙中, 具有这种频率的光是无法在该种结构中传播。光子晶体最大的特点是能够控制光波或电磁波的流动, 由此可以带来许许多多新的应用。由于其具有的特殊性能, 科学家近年来一直在研究其新结构和特性。如何利用光子晶体的特殊性能来制作高性能和新型光子器件、光通讯器件是世界学术界和产业界的热点之一。

半导体量子阱是七十年代初有 L. Esaki 等提出的。将两种半导体按照半导体 A/半导体 B/半导体 A 排列组成半导体量子阱, 由于两种半导体的电子能带结构不同, 电子或空穴在阱中会受到量子限制效应, 被限制在阱区或界面处, 能级发生量子化分离, 出现了许多新的物理现象。由此, 带来了许多新的器件应用, 半导体激光器是其中之一。

本发明的目的是研制一种可以调控电磁波或光波传播、反射和透射特性的光子晶体量子阱结构及其制备方法。

本发明用具有不同光子能带结构的两种光子晶体构成光子晶体量子阱结构, 按照光子晶体 A/光子晶体 B/光子晶体 A 的顺序排列而成, 如图 1 所示。因为中间光子晶体的光子能带结构与两端光子晶体的光子能带结构

不同，可以调控电磁波或光波传播、反射和透射特性。组成光子晶体量子阱结构的光子晶体由两种不同介电常数的材料周期排列而成，可以是一维、二维和三维的。如果只在一个方向有周期结构，就是一维光子晶体（如图 2 所示），只有在周期方向可能具有光子带隙。如果在两个即平面方向具有周期性，则是二维光子晶体（如图 3 所示），光子带隙可能出现在二维周期平面上；如果在三个维度上具有周期性（如图 4 所示），则是三维光子晶体，有可能在全空间出现光子带隙。具体的光子能带结构与维度、结构、介电常数比值和占空比有关。要知道某种光子晶体的光子能带结构，没有一个简单的公式，必须通过理论计算解麦克斯韦尔方程而得（Photonic crystals, Princeton University Press, Princeton, 1995）。构成光子晶体的两种介电材料的介电常数的比值可以在 1.2 至 20 之间变化；两种介电材料所占的空间比例可以在 0.05 至 0.95 之间变化。介电材料可以是无机材料、有机材料、绝缘体材料或半导体材料等，例如玻璃、有机玻璃、硅、砷化镓、聚苯乙烯、碲等。

本发明的光子晶体量子阱结构制备时可用镀膜或蒸度方法将上述范围介电材料重复周期镀膜制得一维光子晶体量子阱结构。镀膜和蒸度方法是目前使用的现有技术，膜厚可按所需结构性能而定，从 0.1 微米到 100 微米之间变化，重复周期数目在 1~50 范围变化。

若用机械钻孔、半导体刻蚀方法在一种介电材料上沿垂直方向钻不同直径的孔，或用两种不同的介电棒人工搭建，并且重复数个周期，则可形成二维光子晶体量子阱结构，具有特殊的光学性质。

若用机械钻孔、半导体刻蚀方法在一种介电材料上沿三个不同方向钻不同直径的孔，或用两种不同的介电棒人工搭建，并且重复数个周期，则可形成三维光子晶体量子阱结构。

这种光子晶体量子阱结构还有一个特点：能带结构与周期结构长度

(晶格常数)具有标度性,即工作波长与晶格常数成反比。因此,可以调节光子晶体的晶格常数,使光子晶体量子阱的工作范围覆盖紫外、可见光、红外、中红外、远红外、微波等波段。如周期长度可以从0.1微米到米之间变化。当周期长度在0.1微米到0.3微米之间变化时,光子晶体量子阱的能隙约在可见光;当周期长度在0.3微米到300微米之间变化时,光子晶体量子阱的能隙约在红外波段;当周期长度在300微米到3米之间变化时,光子晶体量子阱的能隙约在微波或微波以上波段。

光子晶体量子阱结构中光子晶体A的重复周期数一般要求3~50,光子晶体B的重复周期数可根据实际需要从1到50之间变化。周期结构影响而形成的光子能带能够调制光波的传输特性,例如改变量子阱区B的周期数,可以改变A的光子带隙频率内的传输特性;又如改变两种介电材料的介电常数比、占空比,使两种光子晶体的光子带隙有不同的排列,从而调制光波的传输特性,得到所需的传输性质并出现诸如选择性透射、反射、光子能级量子化等各种新的物理现象,给光电子领域的研究和应用开辟新天地,可以利用该结构制成各种光子器件。

光子能带结构与维度、结构、介电常数比值和占空比有关,要得到具有某种光子能带结构,需解麦克斯韦尔方程得到,本发明用实施例来说明。

图1. 光子晶体量子阱结构示意图,由两种具有不同光子能带结构的光子晶体按照光子晶体A/光子晶体B/光子晶体A的顺序排列而成。组成光子晶体量子阱的可以是一维、二维和三维光子晶体。

图2. 一维光子晶体示意图,由两种介电材料在一个维度方向周期排列而成。

图3. 二维光子晶体示意图,由两种介电材料在二个维度方向周期排列而成。

图 4. 三维光子晶体示意图，由两种介电材料在三个维度方向周期排列而成。

图 5. 实施例一的一维光子晶体量子阱结构的能带结构图，频率用约化单位， ν 为频率， a 为周期结构长度， c 为光速。

图 6. 二维光子晶体量子阱结构示意图。

实施例一：一维光子晶体量子阱结构

选用两种介电材料：聚苯乙烯（介电常数为 2.56）和碲（介电常数为 21.16）。用度膜方法交替生长聚苯乙烯和碲，生长 5 个周期。固定聚苯乙烯和碲的厚度之比，例如 0.8，得到光子晶体 A。然后在此基础上，同样用度膜方法交替生长聚苯乙烯和碲，固定聚苯乙烯和碲的厚度之比，例如 0.2，生长 5 个周期，得到光子晶体 B。最后生长 5 个周期的光子晶体 A。这样就制作出一维光子晶体量子阱。这样得到如图 5 所示的能带结构。可以改变光子晶体 A 和 B 中两种介电材料的厚度之比，使 A、B 的光子带隙错开排列或完全分开。如何选取厚度之比得到所要的能带排列结构，必须通过解麦克斯韦尔方程得到具体的能带，通过调节厚度之比来得到。还可以改变晶格常数即周期长度来实现不同波段。如晶格常数为 3 微米，则工作波段大约在 10 微米；若晶格常数为 1 厘米，则工作波段大约在 3 厘米。

实施例二：二维光子晶体量子阱结构

可以采用机械钻孔或半导体工艺的方法，在介电材料或半导体基底上形成二维光子晶体量子阱结构，如图 6 所示。两种不同的光子晶体的区别在于空气孔的大小不一样，因此具有不同的能带结构。可以调节空气孔的大小来实现所要的能带结构。空气孔的大小必须通过解麦克斯韦尔方程得到具体的能带，根据所要的能带来选取。

实施例三：三维光子晶体量子阱结构

与二维类似，可以采用机械钻孔或半导体工艺的方法，在介电材料或半导体基底上形成三维光子晶体量子阱结构。两种不同的光子晶体的区别在于晶格常数不同，因此具有不同的能带结构。可以调节周期长度、介电材料的空间占有比例来实现所要的能带结构。

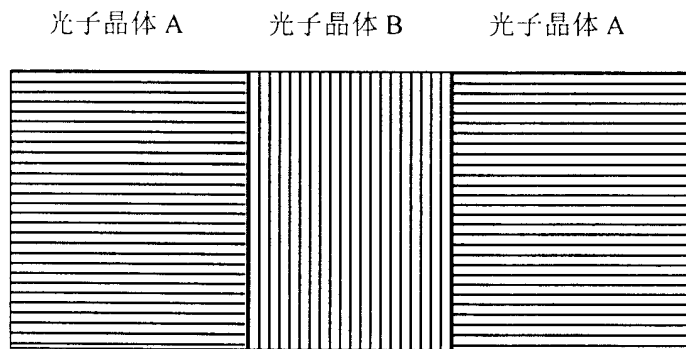


图 1

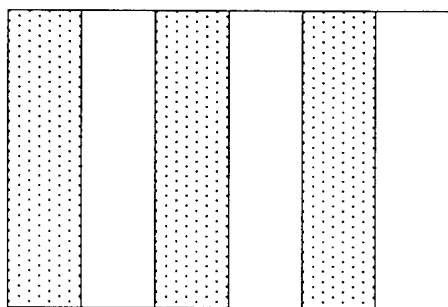


图 2

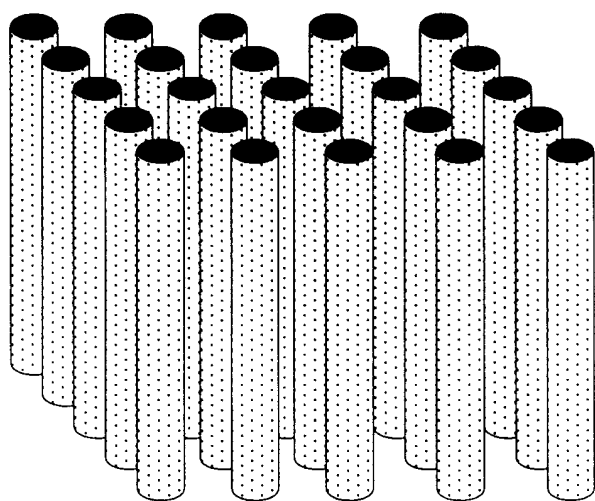


图 3

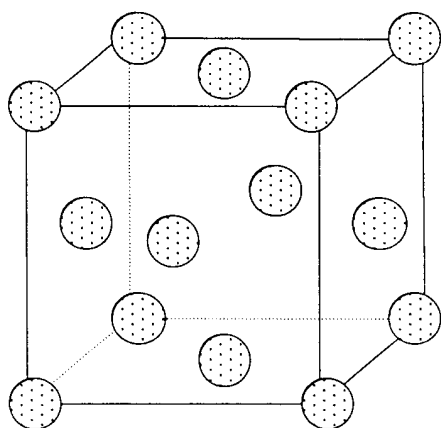


图 4

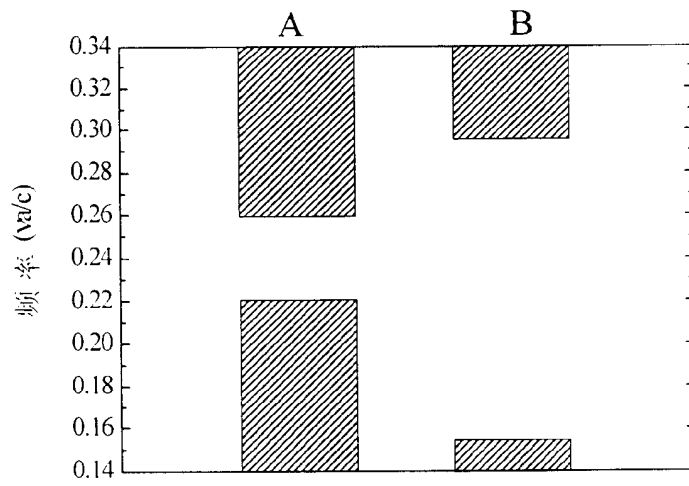


图 5

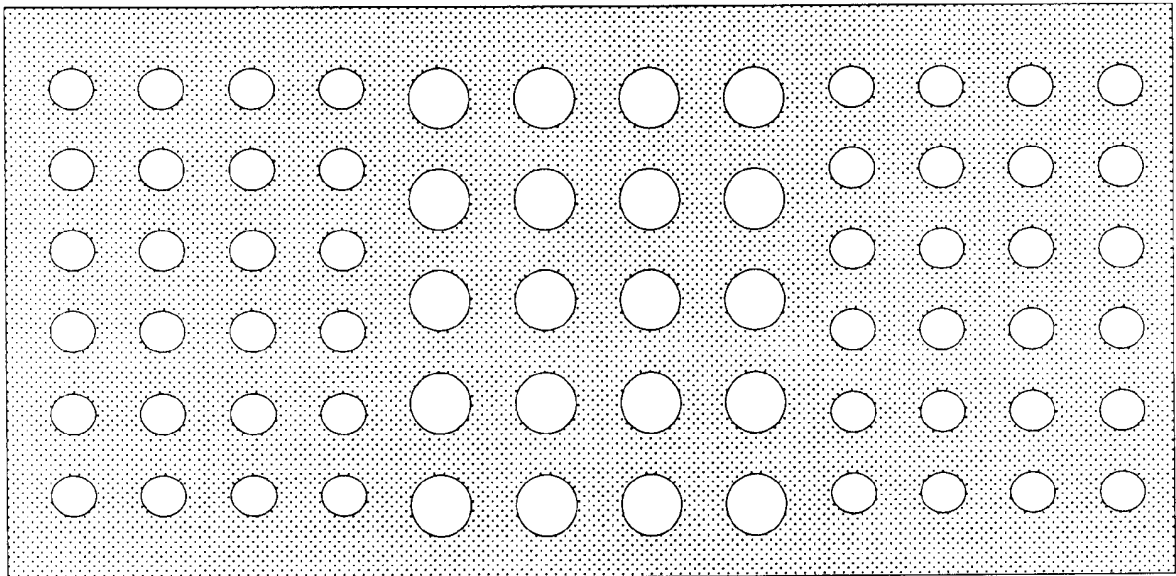


图 6