



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116830405 B

(45) 授权公告日 2026.08.07

(21) 申请号 202180093459.9

(22) 申请日 2021.12.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116830405 A

(43) 申请公布日 2023.09.29

(30) 优先权数据

102020133368.4 2020.12.14 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.08.10

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2021/085730 2021.12.14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/129075 DE 2022.06.23

(73) 专利权人 费迪南德·布劳恩研究所有限公

司·莱布尼茨高频技术研究所

地址 德国柏林

(72) 发明人 彼得罗·德拉卡萨 保罗·柯如姆

默罕默德·埃拉塔尔

马修·M·卡罗

(74) 专利代理机构 北京市立方律师事务所

11330

专利代理师 谢玉斌 谢晨

(51) Int. Cl.

H01S 5/024 (2006.01)

H01S 5/323 (2006.01)

H01S 5/0237 (2006.01)

H01S 5/20 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2001017870 A1, 2001.08.30

审查员 胡涛

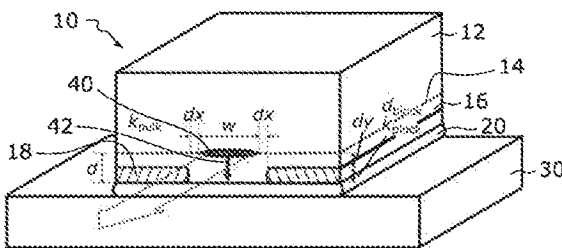
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

具有集成热孔的激光二极管

(57) 摘要

本发明涉及一种具有集成热孔的二极管激光器。根据本发明的激光二极管(10)包括有源层(14),该有源层形成在n型掺杂半导体材料(12)和p型掺杂半导体材料(16)之间,其中,该有源层(14)沿纵轴形成有源区(40),所述有源区(40)具有宽度 w 并且用于产生电磁辐射;其中,在所述p型掺杂半导体材料(16)和/或在所述n型掺杂半导体材料(12)中,形成了层状热孔(18),其导热系数 k_{block} 小于相应半导体材料(16、12)的导热系数 k_{bulk} ,用于从有源区(40)到相应半导体材料(16、12)的与有源层(14)相对的一侧的空间选择性热传递。



1. 一种激光二极管(10),所述激光二极管包括:

有源层(14),所述有源层形成在n型掺杂半导体材料(12)和p型掺杂半导体材料(16)之间,其中,所述有源层(14)形成了沿纵轴具有宽度 w 的有源区(40),用于产生电磁辐射;

其中,在所述n型掺杂半导体材料(12)或所述p型掺杂半导体材料(16)中,形成有导热系数 k_{block} 小于相应掺杂半导体材料(12, 16)的导热系数 k_{bulk} 的以层状形成的热孔(18),用于从所述有源区(40)到所述相应掺杂半导体材料(12, 16)的与所述有源层(14)相对的一侧的空间选择性热传递;

其中,所述激光二极管(10)基于GaAs或 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 并且所述热孔(18)由InGaP、InGaAsP、InGaAsSb或InGaP-InGaAsP超晶格构造;并且

其中,所述热孔(18)的孔径厚度 d_{block} 在 $0.3\mu\text{m}$ 和 $3\mu\text{m}$ 之间。

2. 根据权利要求1所述的激光二极管(10),其中,所述热孔(18)由周期性交替的材料形成。

3. 根据权利要求1所述的激光二极管(10),其中,所述热孔(18)形成了平行于所述有源层(14)布置的狭缝形通道区域,用于从所述有源区(40)朝向所述激光二极管(10)的外侧引导热流(42)。

4. 根据权利要求3所述的激光二极管(10),其中,所述狭缝形通道区域相对于所述有源区(40)布置在中间。

5. 根据权利要求1所述的激光二极管(10),其中,所述有源区(40)的外边缘与所述热孔(18)的最近内边缘之间的横向距离 dx 为 $-w/6 \leq dx \leq +w/6$ 。

6. 根据权利要求1所述的激光二极管(10),其中,所述有源层(14)的中心与所述热孔(18)的顶部之间的垂直距离 dy 为 $0\mu\text{m} \leq dy \leq 1\mu\text{m}$ 。

7. 根据权利要求1所述的激光二极管(10),其中,所述导热系数 k_{block} 至多为相应导热系数 k_{bulk} 的30%。

8. 根据权利要求1所述的激光二极管(10),其中,在所述n型掺杂半导体材料(12)中形成有以层状形成的热孔(18),并且在所述p型掺杂半导体材料(16)中形成有以层状形成的热孔(18)。

具有集成热孔的激光二极管

技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有集成热孔的激光二极管。

背景技术

[0002] 大面积二极管激光器 (BAL) 可以表现出特别高的效率和亮度。使用这些发射器, 可以可靠地实现 >15W 的输出功率。BAL 是近红外 (NIR) 辐射最有效的光源, 因此它们被广泛用作固态和光纤激光器的泵浦源。它们也是光纤耦合激光系统的关键元件, 该系统旨在以高的墙插效率 (wall-plug efficiencies) 为材料处理提供高辐射光束。为了增加这些系统的输出功率并降低其成本, 重要的是提高慢轴的光束质量, 因为这使得能够在低数值孔径 (NA) 光纤中耦合更多数量的发射器。

[0003] 然而, 在高的光输出功率和相关的工作电流下, 光束质量通常会显著下降, 这对光纤中的耦合具有特别不利的影响。研究表明, 慢轴中的热透镜 (而不是电荷载流子或增益诱导的引导) 是在工作电流增大时光束质量下降的主要原因之一 (Bai, J.G. et al, Mitigation of Thermal Lensing Effect as a Brightness Limitation of High-Power Broad Area Diode Lasers, Proc.SPIE 7953, 79531F (2011))。因此, 在高输出功率下光束质量下降的决定性因素是由于激光条带下的中心区域中的温度升高而形成横向温度梯度, 这导致折射率的局部增大, 从而导致额外的横向波导, 并因此导致更大的发散角。

[0004] 特别地, 为了改善热传递, 已经提出了延长激光谐振器或影响激光二极管和基座之间的热流 (热路径技术; 参见例如 Bai 等人, DE 10 2013 114226B4 和 US2016 0315 446A1)。这可以减小横向温度梯度, 从而使产生的热透镜变平。然而, 具有较长谐振器的二极管激光器具有较高的制造成本。然而, 最近已经表明, 在激光二极管和适当的金属化之间的界面处形成了高的热障, 这显著降低了热路径技术对热透镜的有效性 (Rieprich, J. et al, Chip-carrier thermal barrier and its impact on lateral thermal lens profile and beam parameter product in high power broad area lasers, J.Appl.Phys.123, 125703 (2018))。

[0005] 另一种减小横向温度梯度的方法是用外部热源额外加热激光二极管 (Hohimer, J.P., Mode control in broad area diode lasers by thermally induced lateral index tailoring, Appl.Opt.Phys.Lett.52, 260 (1988))。然而, 将外部热源集成到二极管激光器中是非常复杂的, 因此不太实用。

[0006] 横向温度梯度的降低也可以通过经过特殊调整的层状结构来实现 (Winterfeldt, M. et al, Assessing the Influence of the Vertical Epitaxial Layer Design on the Lateral Beam Quality of High-Power Broad Area Diode Lasers, Proc.SPIE 9733, 973300 (2016))。然而, 这样的调整只能略微改善横向光束质量。此外, 这种调整只有在某些激光器的设计中才是可能的。

发明内容

[0007] 因此,本发明的目的是提供一种激光二极管,其中横向温度梯度可以被减小并且产生的热透镜可以变平。特别地,激光二极管不需要任何外部热源或芯片外部的层结构(例如,金属化)的调整,即,仅基于二极管激光器内的单片集成结构。

[0008] 根据本发明,这些目的通过专利权利要求1的特征来实现。本发明的适宜的实施例被包括在相应的从属权利要求中。

[0009] 根据本发明的激光二极管包括形成在n型掺杂半导体材料和p型掺杂半导体材料之间的有源层,该有源层沿着纵轴形成用于产生电磁辐射的宽度为 w 的有源区;其中,在p型掺杂半导体材料中,形成有导热系数 k_{block} 小于p型掺杂半导体材料的导热系数 k_{bulk} 的以层状形成的热孔(例如在有源区和激光二极管的冷却下侧之间的p型掺杂半导体材料中),用于从有源区到p型掺杂半导体材料的与有源层相对的一侧的空间选择性热传递;或者在n型掺杂半导体材料中,形成有导热系数 k_{block} 小于n型掺杂半导体材料的导热系数 k_{bulk} 的以层状形成的热孔,用于从有源区到n型掺杂半导体材料的与有源层相对的一侧的空间选择性热传递。

[0010] 因此,根据本发明的热孔可以形成在p型掺杂半导体材料和n型掺杂半导体材料两者中,优先地在相应的半导体材料中形成。在下文中,将p侧热孔假定为示例,但是解释相应地适用于n侧热孔。

[0011] 激光二极管被理解为由具有或不具有金属化的半导体材料(所谓的激光芯片)组成的层结构。术语半导体材料在这里一般用于指代任何半导体材料或半导体材料的组合,例如Al InGaAsNSb材料系统的组合。特别地,n型掺杂半导体材料和p型掺杂半导体材料也可以各自包括不同成分的不同类型或不同掺杂水平的相应半导体材料的层系统。因此,该用法被理解为与术语n侧半导体材料和p侧半导体材料同义。

[0012] 在n型掺杂半导体材料和p型掺杂半导体材料之间的过渡区域处形成有源层。电磁辐射的产生发生在有源区内的有源层的电泵浦区域中。激光二极管工作期间产生的大部分热量都是在那里产生的,这些热量必须相应地消散。这具体可以通过基座来实现,例如因此基座可以导热地连接到有源区下方的激光二极管的下侧。激光二极管的下侧和基座之间的连接是现有技术,并且可以特别通过焊接或胶合来实现。

[0013] 根据本发明,导热系数 k_{block} 小于周围p型掺杂半导体材料的导热系数 k_{bulk} 的以层状形成的热孔形成在有源区下方的p型掺杂半导体物质中,用于从有源区到激光二极管下侧的空间选择性热传递。导热系数(也称为热导率或导热系数)基于热传导来确定通过材料的热流。该值越低,材料的导热性质就越差。根据本发明,热孔旨在通过在横向方向上局部增加常规加宽区域(在有源区的横向下)中的热阻来抵消有源区和激光二极管的下侧之间的区域中的热流的空间横向加宽来减小横向温度梯度(即,使热透镜变平)。作为其热阻增大的结果,随着增大的输出功率在条带内(在中心区域中)产生了更多的热量,侧面区域(热孔)的局部温度升高。这对应于中心区域和侧面区域之间较低的热梯度,从而对应于更平坦的热透镜。

[0014] 关于两个导热系数之间的关系,有源区下方的p型掺杂半导体材料的导热系数 k_{bulk} 特别重要。在由若干层组成的p型掺杂半导体材料的情况下,各个层可以各自具有略微不同的导热系数 k_{layer} 。导热系数 k_{bulk} 可以被视为涉及热流的所有层的作为结果的导热系

数。作为近似,有源区下方的p型掺杂半导体材料的平均导热系数也可以用于p型掺杂半导体材料的导热系数 k_{bulk} 。或者,作为近似,p型掺杂半导体材料的导热系数 k_{bulk} 也可以等于p型掺杂半导体材料的p-接触层的导热系数 k_{KS} 。

[0015] 因此,本发明的思想特别是通过将单片集成热孔(内部热路径技术)直接集成到激光二极管中,来实现平坦热透镜。相反,由于本征半导体-金属热障的存在,外部热路径技术的效果较差。根据本发明的热孔也可以放置在非常靠近有源区的位置,从而使热流在横向方向上的加宽最小化,从而产生特别平坦的热透镜。因此,现有技术中已知的热路径技术可以应用于激光二极管内,显著提高了其有效性和效率。

[0016] 优选地,热孔由半导体材料组成。这应当具有特别低的热导率(对于低导热系数 k_{block})。此外,优选高的电导率。特别地,热孔可以由与p型掺杂半导体材料相同的半导体材料系统构成(例如,在GaAs衬底上的AlInGaAsP复合物的情况下:GaAs和AlGaAs作为p型半导体材料)。可以通过改变铟和/或磷含量来降低导热系数 k_{block} (例如,在GaAs衬底上的AlInGaAsP复合物的情况下:GaAs和AlGaAs作为p型半导体材料,InGaP或InGaAsP作为热孔)。

[0017] 优选地,为了实现特别小的导热系数 k_{block} ,热孔由周期性交替的材料(例如,不同的半导体或半导体和空气)形成,在材料之间具有大量的有规律的交替,形成热导率 k_{layer} 差异很大的许多界面。界面之间的热传递受到限制,导致热导率 k_{block} 进一步降低(see J.Piprek et al, Thermal conductivity reduction in GaAs-AlAs distributed Bragg reflectors, in IEEE Photon. Tech. Lett. 10, 81 (1998))。

[0018] 优选地,热孔可以用光子晶体结构来实现。光子晶体结构被理解为可以影响光子在晶格内的运动的三维周期性纳米结构。通常,为了产生高的折射率对比度,在结构中形成填充有空气或其他特别低的折射率材料的开口(“气孔”)。这些开口和多种材料的转变导致了这些材料中热导率的显著的降低。总之,光子晶体结构可用于创建具有良好光学性质和非常低的热导率的区域。这同样适用于一维周期晶格(超晶格),其中两种不同材料的薄层,特别是半导体材料的薄层交替排列在彼此的顶部。

[0019] 利用根据本发明的激光二极管,有源区下方的区域的光学性质可以因此在很大程度上被保持,尽管有额外的热孔。

[0020] 例如,对于基于GaAs ($k_{\text{KS}} \approx 44 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) 或 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($k_{\text{KS}} \approx 11-91 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) 的激光二极管,可以构造InGaP ($k_{\text{block}} \approx 5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)、InGaAsP ($k_{\text{block}} \approx 5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)、InGaAsSb或InGaP-InGaAsP超晶格 ($k_{\text{block}} \approx 2.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) 的热孔。

[0021] 为了获得足够的孔径效应,导热系数 k_{block} 应尽可能低。导热系数 k_{block} 应优选地为相应体块值(bulk value) k_{bulk} 的至多30%,更优选地为至多10%,再优选地为至多5%,特别优选地为至多1%。利用InGaP-InGaAsP超晶格,可以实现导热系数 k_{block} 大约是InGaP和InGaAsP的导热系数 k 值的一半(见J.Piprek et al., Thermal conductivity reduction in GaAs-AlAs distributed Bragg reflectors, in IEEE Photon. Tech. Lett. 10, 81 (1998))。然而,通过光子晶体结构可以实现低得多的热导率。

[0022] 优选地,热孔形成间隙形状通道区域,该区域平行于有源层布置,用于从有源区朝向激光二极管的外侧(例如,在p侧热孔的情况下,设置有散热器的p侧下侧)引导热流。在这种布置中,热孔可以将热流沿着整个谐振器轴(z轴)限制到狭缝形通道。出于效率原因,

狭缝形通道区域相对于有源区的中心对称布置(中间布置)是优选的。

[0023] 优选地,有源区的外边缘(横向方向上的横向边界)和热孔的最近内边缘(指向有源区的横向方向上的横向边界)之间的横向距离 dx 为 $-w/6 \leq dx \leq +w/6$ 。这意味着该距离优选地取决于有源区的宽度 w ,并且被选择为使得热孔的内边缘到有源区的外边缘可以具有正的和负的横向距离。特别优选的是距离 dx 为0,即当有源区的外边缘和热孔的相应内边缘在投影到激光二极管的下侧时在空间上重合时。

[0024] 优选地,有源层的中心和热孔的顶部之间的垂直距离 dy 是 $0\mu m \leq dy \leq 1\mu m$ 。这意味着热孔的顶部优选位于有源层中心的正下方,并且距其至多 $1\mu m$ 。最小的可能距离具有最高的孔径效应,但是会对光学性质产生负面影响。在大于 $1\mu m$ 的距离处,热流的横向加宽可能不再被有效抑制。

[0025] 优选地,热孔具有介于 $0.3\mu m$ 和 $3\mu m$ 之间的孔径厚度 d_{block} 。更厚的热孔可以对热流的横向加宽提供更大的抑制。

[0026] 优选地,p型掺杂半导体材料(具有集成热孔)具有在 $0.5\mu m$ 和 $10\mu m$ 之间的总层厚度 d ,更优选地在 $1\mu m$ 和 $5\mu m$ 之间,甚至更优选地在 $2\mu m$ 和 $3\mu m$ 之间。

[0027] 优选地,在n型掺杂半导体材料中形成有以层状形成的热孔,并且在p型掺杂半导体材料中形成有以层状形成的热孔。n型掺杂半导体材料中的热孔可以在功能上对应于p型掺杂半导体材料中的热孔。在这方面,考虑到掺杂的变化,本说明书中提供的关于p型掺杂半导体材料中的热孔的所有信息相应地适用。优选地,n型掺杂半导体材料中的热孔和p型掺杂半导体材料中的热孔可以相对于有源层对称地构造。这种对称性可以特别指热孔的几何和/或材料构成。然而,例如,如果p型掺杂半导体材料和n型掺杂半导体材料具有不同的厚度,并且需要调整距离,热孔的构成也可以不同。当激光二极管被安装用于双侧冷却时,即当可以对激光二极管的两侧进行散热时,这样的实施例是有利的。

[0028] 本发明的进一步优选实施例由从属权利要求中提到的特征产生。

[0029] 本申请中提到的本发明的各种实施例可以有利地相互结合,除非在个别情况下另有规定。

附图说明

[0030] 下面参照附图在实施例示例中解释本发明,其中:

[0031] 图1是没有热孔的示例性常规激光二极管的示意图,

[0032] 图2是根据本发明的具有热孔的激光二极管的示例性第一实施例的示意图,

[0033] 图3是对有源区内随横向位置(x 轴)变化的温度的模拟,

[0034] 图4是对随p接触层的导热系数 k_{KS} 变化的归一化热透镜曲率因子 $|B2|$ 的模拟,

[0035] 图5是对随孔径厚度 d_{block} 变化的归一化热透镜曲率因子 $|B2|$ 的模拟,

[0036] 图6是对随横向距离 dx 变化的归一化热透镜曲率因子 $|B2|$ 的模拟,

[0037] 图7是对于具有根据图4的KS材料的结构,对随横向位置(x 轴)变化的温度 T 与在位置 $x=0$ 处的峰值温度 T_{peak} 之间的温度差 ΔT 的模拟,以及

[0038] 图8是根据本发明的具有两个热孔的激光二极管的示例性第二实施例的示意图。

具体实施方式

[0039] 图1示出了没有热孔的示例性常规激光二极管的示意图。所示的二极管激光器包括:激光二极管10,其具有形成在n型掺杂半导体材料12和p型掺杂半导体材料16之间的有源层14,有源层14沿着纵轴形成用于产生电磁辐射的宽度为 w 的有源区40;和基座30,其中基座30导热地连接到激光二极管10的位于有源区40下方的p侧下侧。导热连接可以由中间焊料层20形成,其中焊料旨在提供激光二极管10的下侧和基座30之间的最佳热传递。

[0040] 特别地,激光二极管10可以具有多层结构,该多层结构包括n-衬底、覆盖n-衬底的n-包层、覆盖n-包层的n-波导层、覆盖n-波导层的有源层14、覆盖有源层14的p-波导层、覆盖p-波导层的p-包层、覆盖p-包层的p-接触层,以及覆盖p-接触层的金属p-接触。

[0041] 在有源区40中在激光二极管工作期间作为热量出现的损耗必须从有源区40耗散掉。为此目的,通常使用基座30作为相应的散热器。然而,从有源区40引导至基座30的热流在横向方向上强烈地扩散,并导致有源区40下方区域中的不均匀温度分布。由此产生的温度分布可以对产生的电磁辐射产生热光效应,并且通过在该区域中形成热透镜,导致辐射发射期间光束质量的恶化。

[0042] 图2示出了根据本发明的具有热孔的激光二极管的示例性第一实施例的示意图。所示的二极管激光器包括:具有有源层14的激光二极管10,有源层14形成在n型掺杂半导体材料12和p型掺杂半导体材料16之间,所述有源层14沿着纵轴(纵向方向, z 轴)形成用于产生电磁辐射的宽度为 w 的有源区40;和基座30,其中有源区40下方的基座30导热地连接到激光二极管10的p侧下侧。这尽可能对应于图1所描述的结构。

[0043] 然而,在p型掺杂半导体材料16中,形成有导热系数 k_{block} 小于p型掺杂半导体材料16(在有源区40下方)的导热系数 k_{bulk} 的以层状形成的热孔18,用于从有源区40到p型掺杂半导体材料16的与有源层14相对的一侧(激光二极管10的下侧)并且因此到基座30的空间选择性热传递。近似地,p型掺杂半导体材料16的平均导热系数也可以被用于有源区40下方的p型掺杂半导体材料的导热系数 k_{bulk} 。或者,p掺杂半导体材料16的导热系数 k_{bulk} 也可以近似等于p型掺杂半导体材料16的p-接触层的导热系数 k_{cs} 。

[0044] 而且,这里,导热连接可以由中间焊料层20形成,该焊料旨在实现激光二极管10的下侧和基座30之间的最佳热传递。所述连接也可以通过粘合来实现,例如借助于导热粘合剂。

[0045] 热孔18形成了平行于有源层14布置的狭缝形通道区域,用于从有源区40朝向激光二极管10的下侧引导热流42。所述狭缝形通道区域布置在图中有源区40的中间下方。热流42在横向方向上从有源区40引导至基座30的传播被根据本发明的热孔18所抑制,产生了大致平行的热流42。随着输出功率的增大,有源区40产生更多的热量,热孔18的高热阻导致其局部温度的升高(即,横向区域中的加热)。这导致在有源区40下方的区域中在中心区域(有源区正下方)和热孔(侧面区域)之间的温度分布更加均匀。因此在该区域中热透镜的形成也被抑制,这可以提高辐射发射期间的光束质量。

[0046] 该图还进一步示出了有源区40的外边缘和热孔的最近内边缘之间的水平距离 dx 。还示出了有源层14的中心和热孔18之间的垂直距离 dy 。还示出了热孔18的孔径厚度 d_{block} 和p型掺杂半导体材料16的总层厚度 d 。

[0047] 该描述相应地适用于在n型掺杂半导体材料12中形成的热孔18。在这种情况下,有

源区40上方的相应基座30可以导热地连接到激光二极管10的n侧顶部,以抑制向上引导的热流42的横向加宽。

[0048] 图3示出了对有源区内随横向位置(x轴)变化的温度的模拟。所述模拟是在 $y=0$ 的垂直位置(y轴)上进行的,即在有源层的中心,用于条带宽度 $w=90\mu\text{m}$ 的GaAs基的大面积二极管激光器(BAL)(见M.Elattar et al, High-brightness broad-area diode lasers with enhanced self-aligned lateral structure, Semicond. Sci. Technol. 35, 095011 (2020)), 其在光功率 $P_{\text{opt}}=10\text{W}$ 下工作。模拟的BAL对应于由n型掺杂半导体材料和p型掺杂半导体材料之间的有源区(AZ)组成的典型结构。p型掺杂半导体材料由生长在AZ上的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 波导层(WL)、随后的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 包层(MS)以及最后的GaAs接触层(KS)组成,接触金属随后沉积在GaAs接触层(KS)上。模拟(与相应的实验结果匹配)包括KS金属界面处的热障。术语热透镜曲率因子B2是所获得的热轮廓的二次拟合的二次项(Rieprich, J. et al., Chip-carrier thermal barrier and its impact on lateral thermal lens profile and beam parameter product in high power broad area lasers, J. Appl. Phys. 123, 125703 (2018)), 其中在模拟中对条带宽度 $w=90\mu\text{m}$ 内的区域进行了二次拟合。模拟中的示例性常规二极管激光器表明,获得了具有宽条带的边缘处的大约 45°C 与中心处的大约 51°C 之间的弯曲轮廓的热轮廓。

[0049] 图4示出了对随p-接触层的导热系数 k_{KS} 变化的归一化热透镜曲率因子|B2|的模拟。在参考结构中,KS由GaAs($k_{\text{KS}}\approx 44\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)组成。当具有较低热导率的材料取代GaAs时,例如InGaP($k_{\text{block}}\approx 5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)、InGaAsP($k_{\text{block}}\approx 5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)、InGaP-InGaAsP超晶格($k_{\text{block}}\approx 2.5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;参见J.Piprek et al., Thermal conductivity reduction in GaAs-AlAs distributed Bragg reflectors, in IEEE Photon. Tech. Lett. 10, 81 (1998)), 或空气($k_{\text{air}}\approx 0.026\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)被取代时,所述归一化热透镜曲率因子|B2|减小,对应于弱化的热透镜。这导致更小的远场角并且因此改善了光束质量。具体地,模拟表明,当具有降低的导热系数 $k_{\text{KS}}\approx 18\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 时,可以实现归一化热透镜曲率因子|B2|降低5%。导热系数 $k_{\text{KS}}\approx 7\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 时可以实现10%的降低。对于15%的降低,导热系数应为 $k_{\text{KS}}\approx 2.5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

[0050] 图5示出了对随孔径厚度 d_{block} 变化的归一化热透镜曲率因子|B2|的模拟。当GaAs(KS)或 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (MS, WL)层被InGaP(低的导热系数k)取代时,对应于弱化热透镜的形成,归一化热透镜曲率因子|B2|减小。这导致更小的远场角并且因此改善了光束质量。特别地,模拟表明,当孔径厚度 $d_{\text{block}}\approx 688\text{nm}$ 时,可以实现归一化热透镜曲率因子|B2|降低5%。孔径厚度 $d_{\text{block}}\approx 1375\text{nm}$ 时可以实现10%的降低。

[0051] 图6示出了对随横向距离dx变化的归一化热透镜曲率因子|B2|的模拟。这里假设KS由InGaP组成。可以观察到,当 $dx=0$ 时,即,在有源区下方的导热性特别强的狭缝形通道区域与激光条带完全居中对齐时,热孔可以最有效地降低热透镜曲率因子|B2|。

[0052] 图7示出了对于图4中所示的具有KS材料的结构,对随横向位置(x轴)变化的温度T与在位置 $x=0$ 处的峰值温度 T_{peak} 之间的温度差 ΔT 的模拟。该曲线显示了当用具有较低热导率的材料代替GaAs时热透镜的曲率的减小。

[0053] 图8示出了根据本发明的具有两个热孔的激光二极管的示例性第二实施例的示意图。所示激光二极管10原则上对应于如图2所示的根据本发明的具有热孔18的激光二极管

10的第一实施例。因此,各个附图标记及其对各个特征的相应分配相应地适用。然而,与图2中的图示相反,这里在有源层14下方的p型掺杂半导体材料16和有源层14上方的n型掺杂半导体材料12中都示出了根据本发明的具有热孔18的结构。第一基座30a导热地连接到有源区40下方的激光二极管10的下侧。此外,第二基座30b在有源区40上方导热地连接到激光二极管10的顶部。因此,可以在激光二极管10的两侧进行冷却,从而可以通过热孔18有效地抑制热流42向激光二极管10顶部和下侧的横向加宽。当激光二极管10被安装用于双侧冷却时,即当激光二极管10的两侧都可以发生散热时,这样的实施例是有利的。所示的激光二极管相对于有源层14是对称的。

[0054] 附图标记列表

[0055]	10	激光二极管
[0056]	12	n型掺杂半导体材料
[0057]	14	有源层
[0058]	16	p型掺杂半导体材料
[0059]	18	热孔
[0060]	20	焊料层
[0061]	30	基座
[0062]	30a	第一基座
[0063]	30b	第二基座
[0064]	40	有源区
[0065]	42	热流
[0066]	dx	横向距离(慢轴)
[0067]	dy	垂直距离(快轴)
[0068]	d_{block}	孔径厚度
[0069]	w	宽度

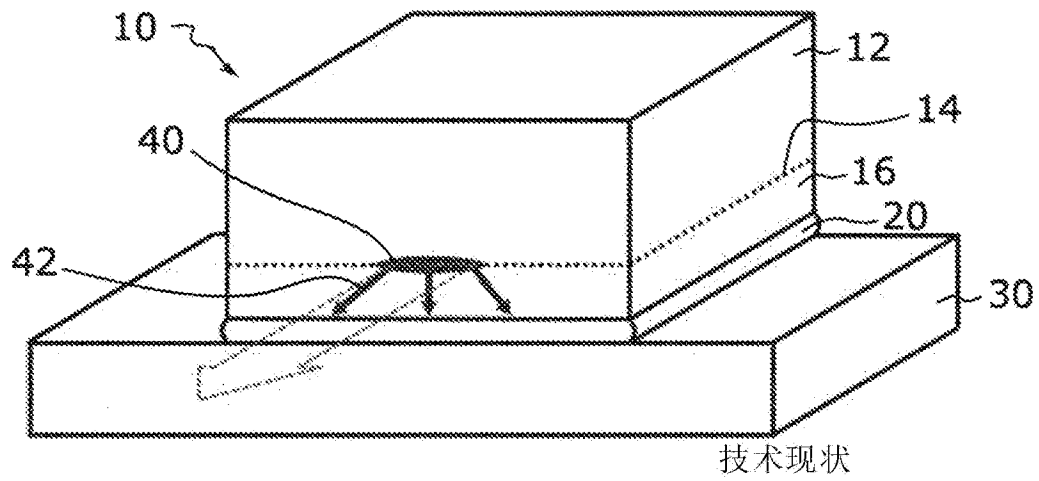


图1

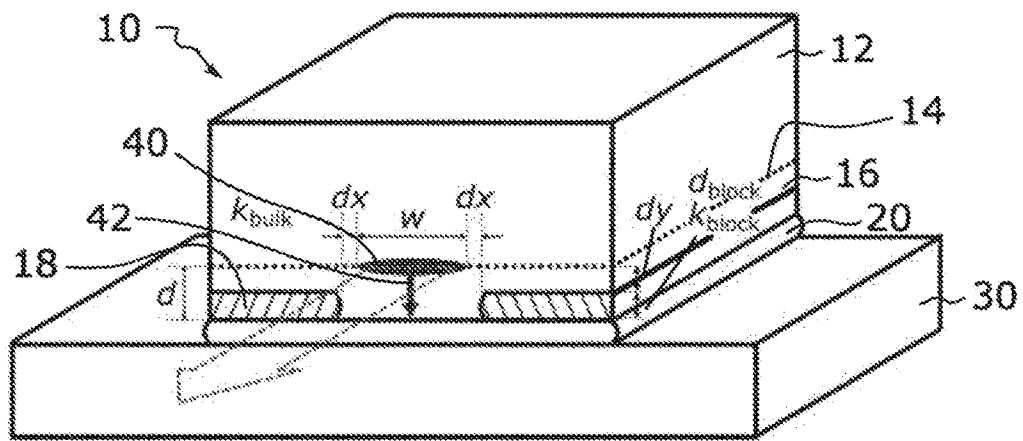


图2

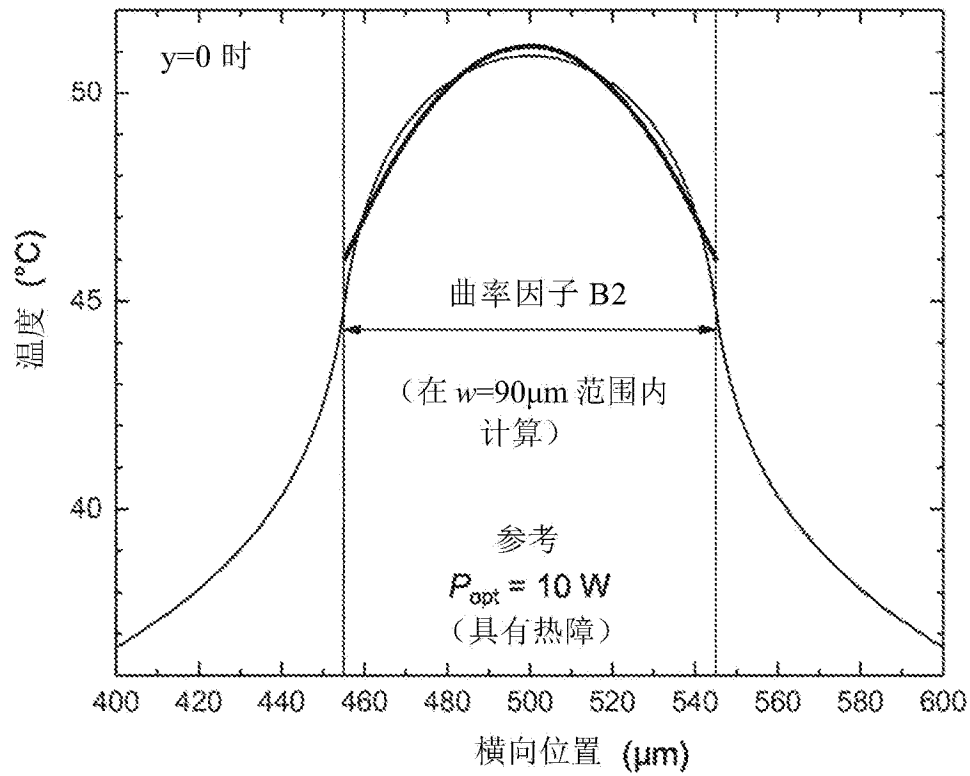


图3

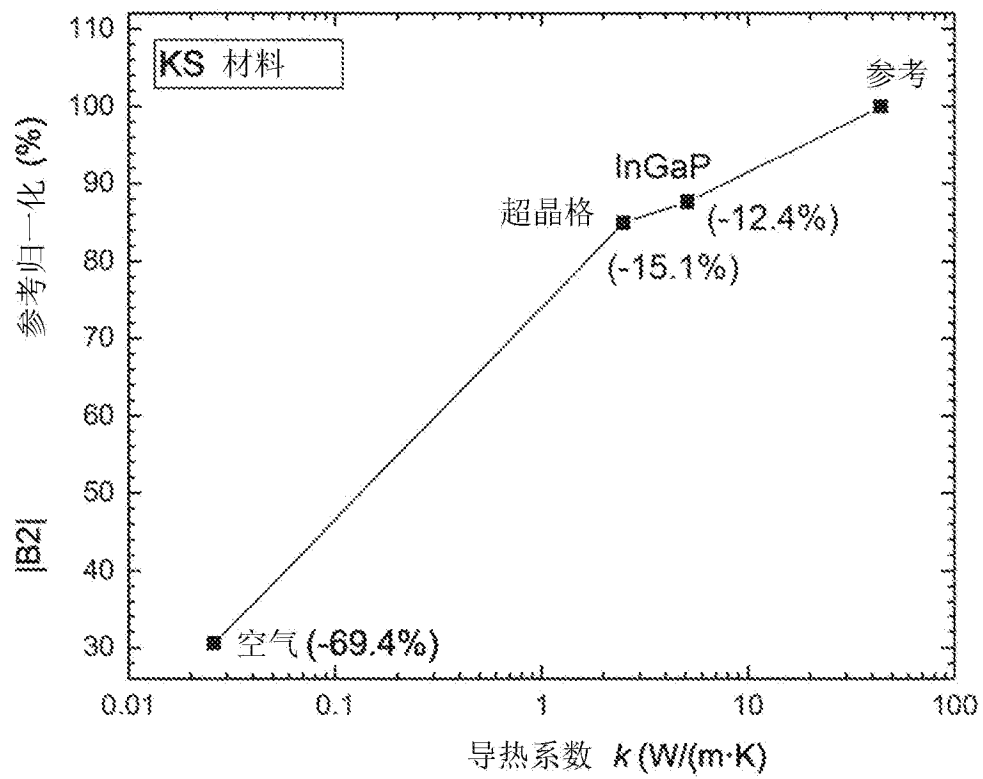


图4

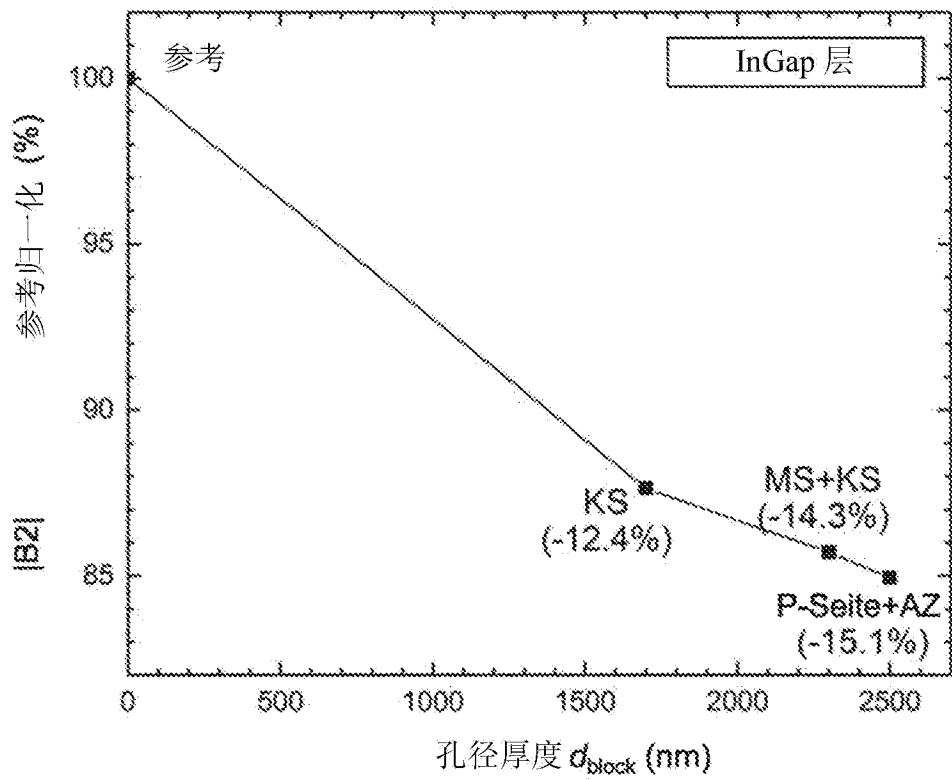


图5

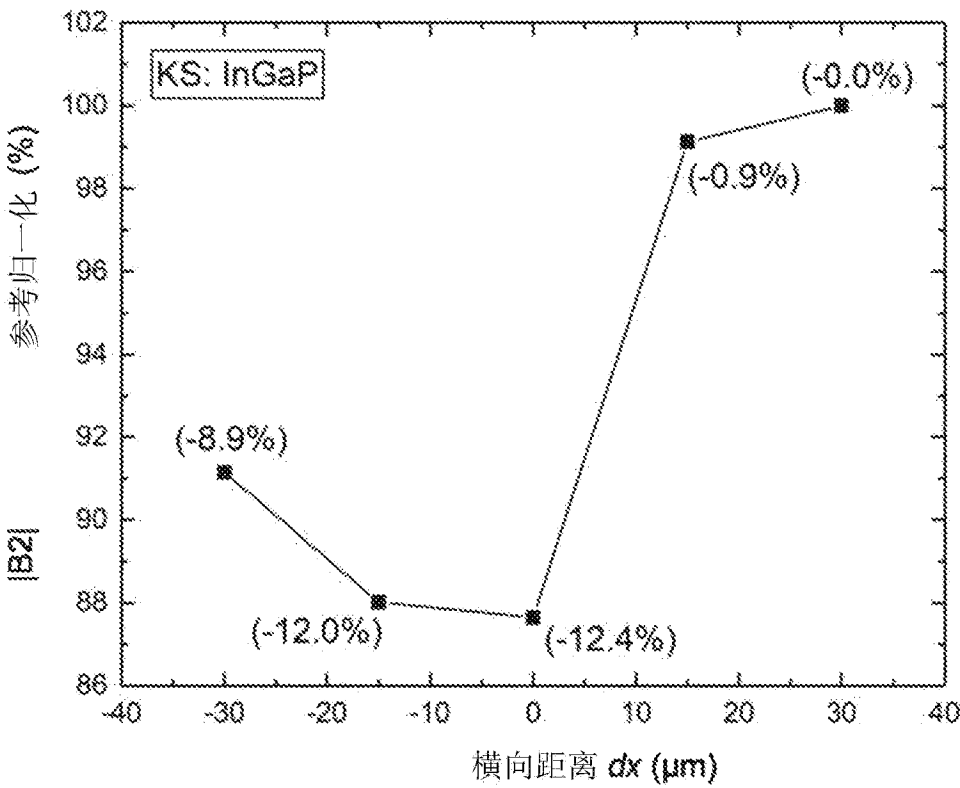


图6

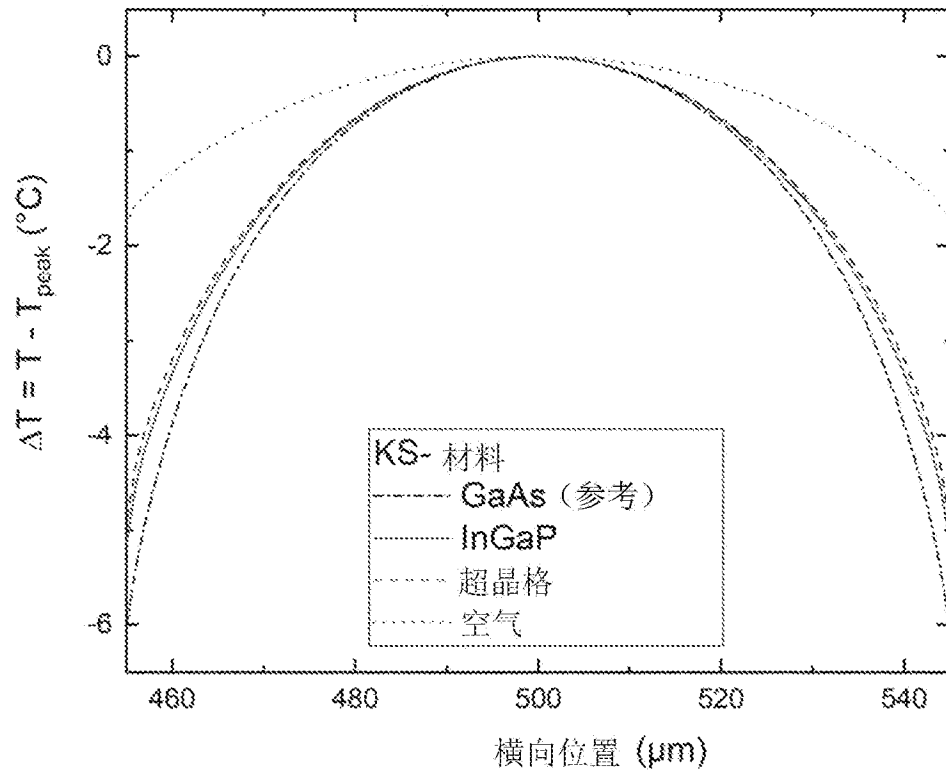


图7

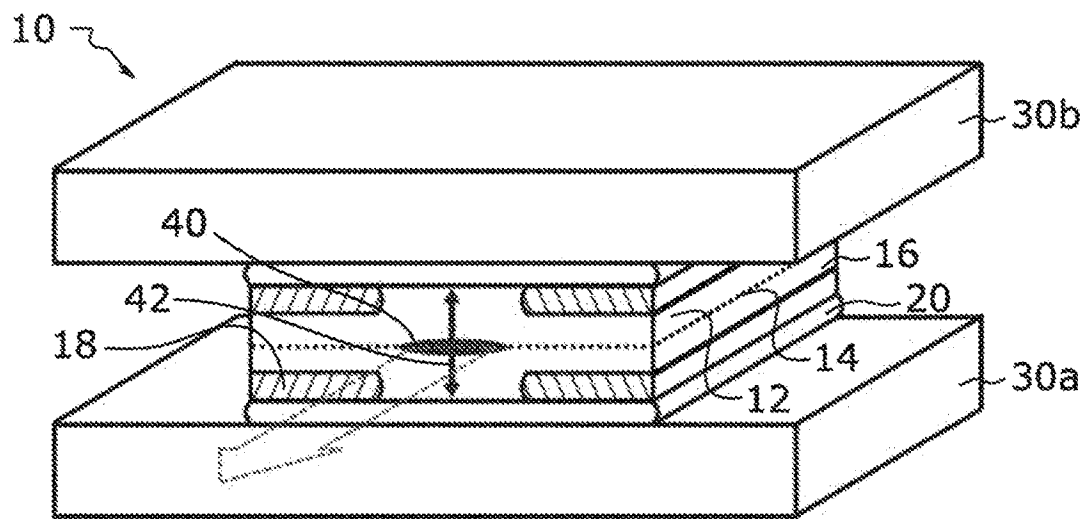


图8