

带介质分布式 Bragg 反射镜结构高性能共振腔 发光二极管的研究*

汤益丹[†] 沈光地 郭霞 关宝璐 蒋文静 韩金茹

(北京工业大学光电子技术省部共建教育部重点实验室, 北京 100124)

(2010 年 5 月 17 日收到; 2011 年 4 月 16 日收到修改稿)

采用等离子体增强化学气相沉积高低频交替生长法生长了 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 透明介质分布式 Bragg 反射镜 (DDBR), 提出了对 DDBR 采用干、湿法并用的腐蚀方法. 采用传输矩阵法理论分析了 DDBR, 得出了为满足出光增益要求的反射率和 DDBR 结构. 使用光致发光 (PL) 谱仪测量分析了 DDBR 反射谱和光致发光谱, 获得了使光致发光谱辐射增强的 DDBR 结构, 在整个光致发光谱 380—780 nm 波段, 整体辐射增强 1.058 倍, 在谐振波长处辐射增强 1.5 倍, 半峰全宽值由 23 nm 变窄为 10.5 nm, 获得了很好的光谱纯度. 利用最优 DDBR 结构制成了高性能共振腔发光二极管器件, 与普通结构相比, 实现了低开启电压 1.78 V; 在 20 mA 注入电流下, 轴向光强提高了 20%, 光功率和光效分别提高了 27.7% 和 26.8%, 光功率衰减缓慢; 在 0—100 mA 注入电流下, 没有明显的下降趋势, 表现出了良好的温度稳定性.

关键词: 发光二极管, 共振腔, 介质分布式布拉格反射镜, 辐射增强

PACS: 85.60.Jb

1 引言

共振腔发光二极管 (RCLED) 具有高效率、窄发射光谱、光强度高且纯、温度稳定性好、高调制带宽、作为光源对人眼安全等优点, 已广泛应用于通信和高亮度显示领域^[1-4]. RCLED 无论是与传统发光二极管 (LED) 相比, 还是与垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 相比, 都显示出优越的特性, 特别是在可见光光源市场具有广阔的发展前景. RCLED 与传统 LED 相比, 有更窄的光谱线宽、更好的发射方向性、更好的耦合效率、高亮度、高纯度、高带宽、高提取效率、温度稳定性好、产量高和更好的热特性; 与 VCSEL 相比, 无阈值, 很高的温度稳定性、可靠性, 发射率要求没那么高, 成本比激光器低^[5], 具有更好的波长选择性, 可制作可见光波段 (波长小于 700 nm) 器件.

以共振腔技术为基础的器件研制是提高外量子效率的一种突破性方法^[6-11], RCLED 是采用上、下分布 Bragg 反射镜 (DBR) 组成的共振腔, 与

有源区一起形成夹三明治结构. 但是, 要增加反射率就必须增加 DBR 的对数, 而是随着 DBR 对数的增多, 串联电阻和寄生电容也会随之增大, 也会带来渗透深度的增加, 从而导致发光效率降低、调制速度减慢、温度稳定性下降等问题. 要解决这个问题, 一是要优化现有 DBR, 二是采用其他反光镜来代替传统 DBR, 如采用介质 DBR (DDBR)^[3,12].

带有 DDBR 结构的 RCLED, 因 DDBR 比传统 DBR 具有更高的反射率, 减少了 DBR 的对数, 可以大大减少串联电阻和寄生电容, 从而减少了 p-DBR 上的压降, 避免出现同质结势垒的影响, 在达到相同光学谐振增益的情况下, 可以提高电子空穴注入的能力, 增加电子的注入, 减少热的产生. 并且, 通过 DDBR 结构能够在加强大部分自发辐射复合光的同时产生更窄的发射图形, 获得更高的提取效率. 同时, DDBR 是绝缘且具有稳定性的材料, 能使器件和周围的环境有效隔绝, 阻止了外界对器件的影响, 增强了腔的稳定性. 在保证谐振的前提下, 可实现高发光效率、高灵敏度响应、温度稳定性和

* 国家高技术研究发展计划 (863 计划) (批准号: 2006AA03A121) 和国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (批准号: 2006CB604902) 资助的课题.

[†] E-mail: tangyidan@emails.bjut.edu.cn

腔稳定性高、以及更好的波长选择性.

2 带 DBR 结构高性能 RCLED 的设计与制备

2.1 RCLED 结构设计

为了充分研究带有 DBR 结构的高性能 RCLED, 如图 1 所示我们设计了两种样品, 样品 (a) 为普通结构, 样品 (b) 为带有 DBR 结构.

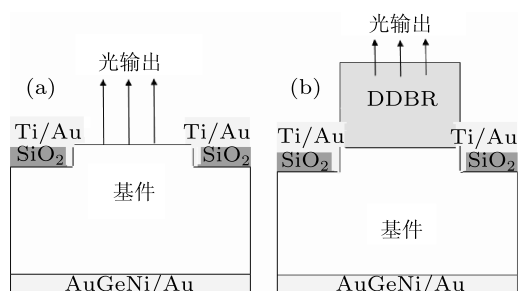


图 1 常规 RCLED 和 DBR RCLED 截面图 (a) 普通结构; (b) 带有 DBR 结构

2.2 DBR 反射率及光致发光 (PL) 谱分析

我们主要采用传输矩阵法理论^[13]计算了 DBR 反射谱, 得出为满足出光增益要求的反射率和 DBR 结构, 并利用 PL 谱仪对器件性能进行了分析.

采用传输矩阵法, 首先理论计算了在波长 620 nm 处 2 对、3 对、4 对 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 交替生长的 DBR 反射谱、 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 构成的 3RC (3RC 定义为 $\lambda_n/2$ 的 SiO_2 被前后 3 对 $\lambda_n/4$ 波长交替生长的 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 所夹) 的反射谱、 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 构成的 3RC+3RC 反射谱. 对于 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 的折射率, 实验测得折射率随波长变化情况如图 2 所示.

在使用 PECVD 实际生长过程中, SiO_2 的生长速率不怎么漂移, 基本固定为 730 Å/min, 折射率为 1.4822 (620 nm); Si_3N_4 的生长速率有点漂移, 约为 150 Å/min, 折射率为 2.044 (620 nm).

从图 3 可以看出 620 nm 处 2 对、3 对、4 对 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ DBR 的反射率分别为 49.3%, 68.7%, 81.9%. 根据 RCLED 设计原则, 要获得最佳增益, De Neve 等^[9]通过理论计算得出获得最佳效率的顶部出光镜的反射率范围为 50%—60%, 采用 3 对 DBR 的反射率完全可以满足谐振腔反射率的要求. 但从图 4 可以看出, 仅采用 3 对 DBR

只能获得所需的反射率, 因没有谐振特征, 形不成谐振. 而由 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 构成的 3RC DBR 结构的反射率在 620 nm 两侧最高可以达到 95%, 在 620 nm 处反射率突然下降, 这是谐振腔的特征, 表明在 620 nm 处形成谐振, 即 620 nm 处为谐振波长处. 但反射率没有下降至零, 主要原因是上下 DBR 的反射率是不相等的. 由 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 构成的 3RC+3RC DBR, 反射率已达到 1, 并形成双谐振, 但两谐振不在同一波长处, 对于同一波长处的谐振起不到加强作用. 所以, 为了保证顶部镜的反射率在 50%—60%之间, 且谐振加强处于同一波长处, 并考虑到三对以上的 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 虽然能够达到更高的反射率, 但也会给实际的腐蚀工艺造成困难等因素, 所以, 实验中选用 1.5 RC 作为研究重点.

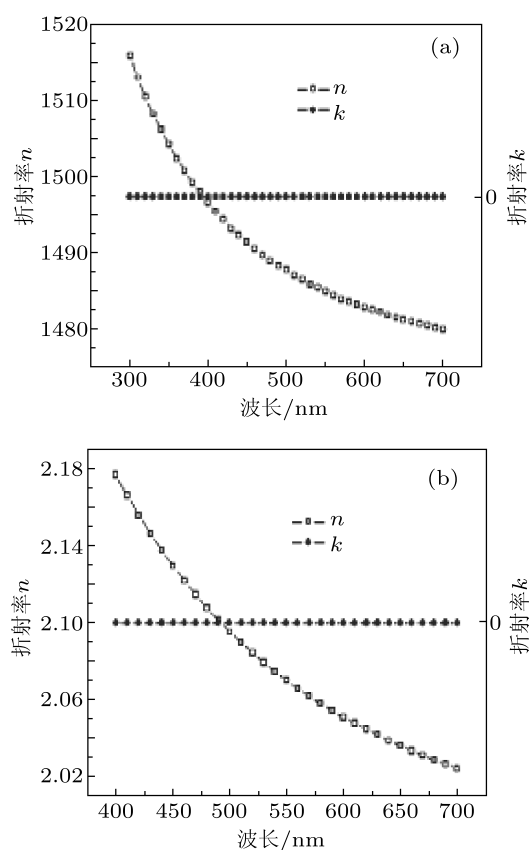


图 2 SiO_2 (a) 和 Si_3N_4 (b) 的折射率随波长变化情况

首先我们在玻璃片上生长了 1.5 RC, 测量结果与模拟理论结果于一致, 且最高反射率都可达 55%, 存在的一定偏差, 可能是由于薄膜生长的厚度与预期值有所不同, 以及理论折射率与实际值的差异所引起的, 如图 5 所示.

实验中, 对普通外延片样品和在普通外延片上采用 PECVD 沉淀 1.5 RC DBR 样品进行了测试

分析. 通过对实验数据汇总, 得到了各样品的 PL 谱和白光谱. 在实验测量中, 由于测试仪器在短波长处较不敏感, PL 谱能量峰值本应该在白光反射谱的两个高反射率之间达到, 但出现了一些偏差, 不过两个图的总体趋势一致见图 6(a), (b). 从图 6 中可以看出, PL 谱能量峰值都约在波长为 640 nm 左右, 说明普通 RCLED 外延片已经形成了谐振, 加上 1.5 RC DDBR 结构的器件可以使同一波长处的谐振加强.

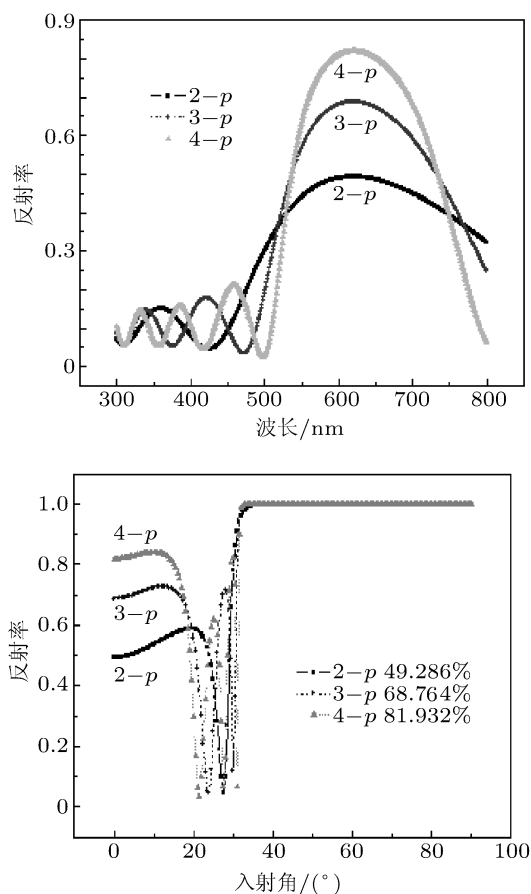


图 3 2 对、3 对和 4 对 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 的反射率随波长和角度的变化关系

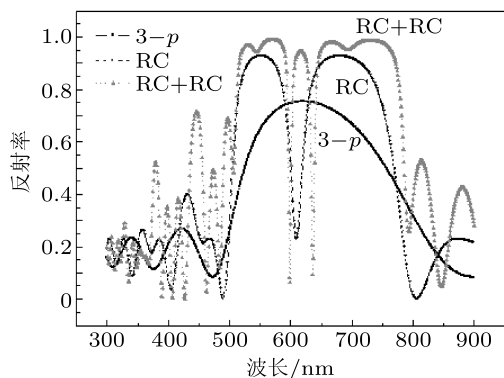


图 4 3 对, RC 和 RC+RC $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 的反射率随波长的变化关系

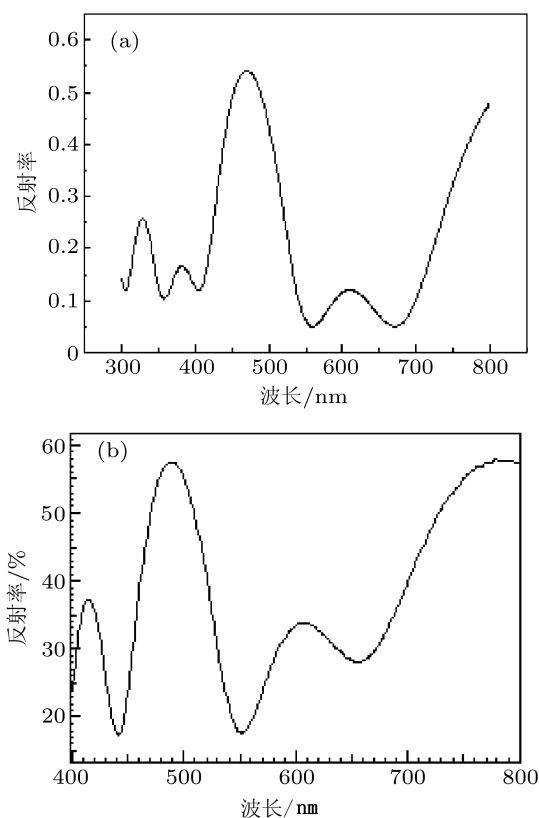


图 5 1.5 RC DDBR 在 Si 上的反射率随波长的变化关系 (a) 模拟图; (b) 测量图

图 7 是沉淀 1.5 RC DDBR 前后的 PL 谱通过对 PL 谱图进行积分计算, 结果列于表 1 中.

对以上数据分析发现, 在普通外延片上沉淀 1.5 RC DDBR 结构能够使 PL 谱强度增强, 在整个 380—780 nm 波段整体辐射增强是普通结构样品的 1.058 倍, 在谐振波长处辐射增强是普通结构样品的 1.5 倍, 半峰宽 (FWHM) 值由 23 nm 变窄为 10.5 nm, 具有很好的光谱纯度, 这说明选择适当 DDBR 结构构成的共振腔起到了很好的谐振效果, 不仅使得谐振处辐射增强, 而且在全频谱范围内整体辐射也增强了.

2.3 器件和 DDBR 的制备

制作了两个器件样品, 分别为样品 A 和样品 B. 对样品 A 的芯片制备过程如下: 采用普通的红光 RCLED 外延片, 首先采用电感耦合等离子体 (ICP) 干法刻蚀, 将出光孔以外的外延层刻蚀掉, 形成台面出光孔; 再淀积 SiO_2 , 并将出光孔上的 SiO_2 刻蚀掉; 之后在片子表面溅射 TiAu 电极, 并将出光孔上的 TiAu 刻蚀掉; 出光孔的直径为 80 μm ; 接着磨抛背面, 将片子减薄至 100 μm ; 再

在背面溅射 AuGeNi 电极,并在 435°C 下合金退火;最后将片子解离成 300 μm ×300 μm 的管芯.对于样品 B 来说,就是样品 A 在减薄前加一步下面将介绍的 DDBR 制作过程.

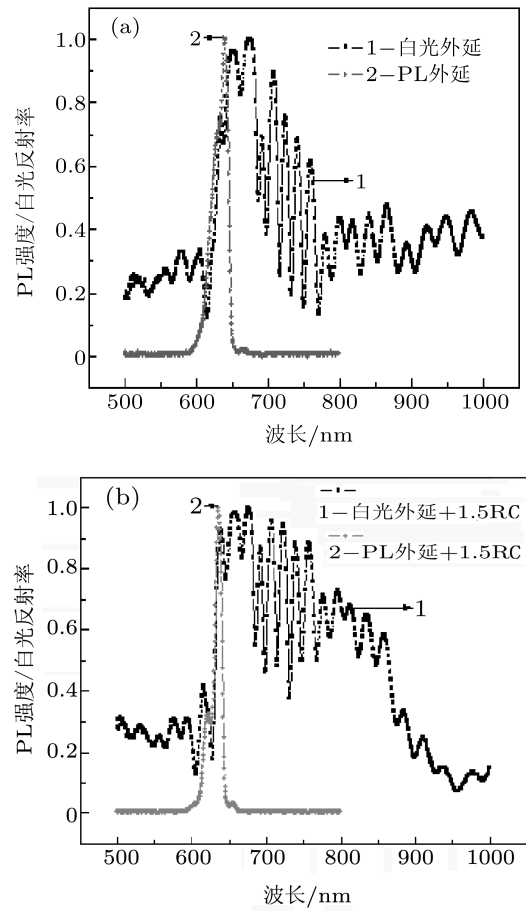


图 6 (a) 普通外延片白光谱和 PL 谱; (b) 1.5 RC DDBR 结构的白光谱和 PL 谱

为了获得高反射率、低应力的 DDBR,采用等离子体增强化学气相沉积 (PECVD) 高低频交替生长法生长了 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ DDBR. PECVD 沉积的 SiO_2 通常是压应力,沉积的 Si_3N_4 可以是张应力,也可能是压应力.利用 PECVD 生长薄膜时,在不同的生

长条件下,薄膜显示出了差异很大的应力特性 [14].影响薄膜应力的因素主要有温度、压力、射频频率、射频功率和高低频占空比 [14–16] 等条件.其中生长 Si_3N_4 薄膜时,生长条件对薄膜质量影响很大.通过实验,我们采用以下工艺和表 2 所列条件进行生长.

实验中采用英国牛津公司生产的 Plasmalab 80 Plus 型 PECVD 设备沉积氮化硅薄膜,交替应用 30 W 的低频 (100 kHz) 激励源和 20 W 的高频 (13.56 MHz) 激励源.

在交替生长过程中,为了形成共振 (RC) DDBR 结构,采用以下 1.5 RC DDBR 共振交替生长顺序: Si_3N_4 ($\lambda_n/4$), SiO_2 ($\lambda_n/4$), Si_3N_4 ($\lambda_n/4$), SiO_2 ($\lambda_n/2$), Si_3N_4 ($\lambda_n/4$), SiO_2 ($\lambda_n/4$), Si_3N_4 ($\lambda_n/4$).最顶层采用 Si_3N_4 可以起到好的腔稳定作用,

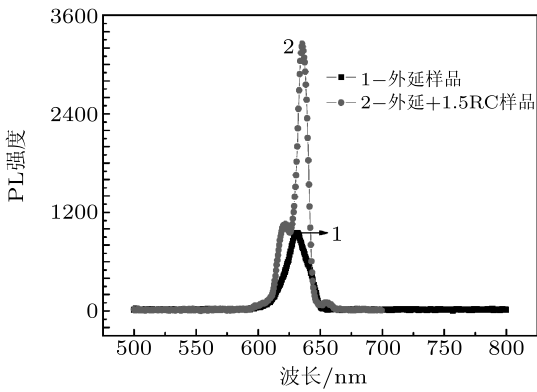


图 7 沉淀 1.5 RC DDBR 前后的 PL 谱对比

表 1 PL 谱积分计算结果

	谐振波 辐射强度	峰值 波长	FHWM /nm	峰高 /arb.units
外延样品	49566.475	639.5	23	2034
外延 +1.5RC 样品	52428.525	636	10.5	3252.7

表 2 采用 PECVD 生长 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ DDBR 的条件

样品 生长	炉温 /°C	SiH_4 /mL·min ⁻¹	NH_3 /mL·min ⁻¹	N_2O /mL·min ⁻¹	真空度 /0.133 Pa	功率 /W	时间 /min	厚 度 /nm	备注
SiO_2	300	170		710	1000	20	1'28''/2'57''	106/212	
Si_3N_4	300	400	30		1000	HF:20 12'' LF:30 8''	5'56''	77	交替 生长

2.4 DDBR 的腐蚀工艺的研究及分析

在纳米尺寸, 通过表 3 对比发现, Si_3N_4 的介电常数比 SiO_2 高, 稳定性高, 具有难以克服的硬度和脆性, 且 DDBR 结构为 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 交替生长的多层结构, 所以在腐蚀工艺中具有很大难度. 以下主要介绍 DDBR 结构中的 Si_3N_4 腐蚀工艺.

表 3 SiO_2 和 Si_3N_4 的性质比较

样品	禁带宽度/eV	介电常数
SiO_2	8.9	3.9
Si_3N_4	5.1	7.0

2.4.1 湿法腐蚀

为了摸索 DDBR 结构中 Si_3N_4 的腐蚀工艺, 我们首先采用的是最常用的湿法腐蚀工艺. 湿法腐蚀是通过化学腐蚀液与被腐蚀物质之间的化学反应, 使晶体转化为可溶解的物质, 以达到将被腐蚀物质剥离下来的效果. 腐蚀速度与绝对温度的倒数成负指数关系. 实际中, 为了控制腐蚀速度, 通常使腐蚀

在恒温下进行. 同时, 腐蚀过程中还确定了合适的腐蚀条件, 包括腐蚀液成分、腐蚀液浓度、缓冲剂的加入、腐蚀温度、腐蚀时间、是否搅拌等, 来确保腐蚀干净, 减轻钻蚀现象, 提高腐蚀质量. 实验中, 选用不同比例的 SiO_2 腐蚀溶液 BHF 对 Si 衬底上生长的 Si_3N_4 进行腐蚀, 具体形态见图 8.

腐蚀速率因配比的不同而发生改变, 通过对比试验发现, 不断调整 BHF 溶液配比, 在相同条件下采用连续性腐蚀方法, 可以减少腐蚀过程中出现的侧向钻蚀, 改善腐蚀导致的图形不规则 (图 8(c)), 因为图形的变小会影响器件的出光效率. 实验中最后采用 BHF 溶液配比为 17 : 30 : 53, 连续腐蚀 90 s, 可以得到比较好的腐蚀效果. 但是这只是 Si 衬底上生长的单层 Si_3N_4 的腐蚀, 对于器件上的交替 Si_3N_4 的腐蚀更不容易把握. 特别是腐蚀时间长, 对图形钻蚀得更严重. 因此, 要想腐蚀掉不需要的图形, 准确留下需要的图形, 单靠湿法腐蚀是很难把握的, 所以, 我们综合考虑到干法腐蚀的优点, 也采用了干法刻蚀方法.

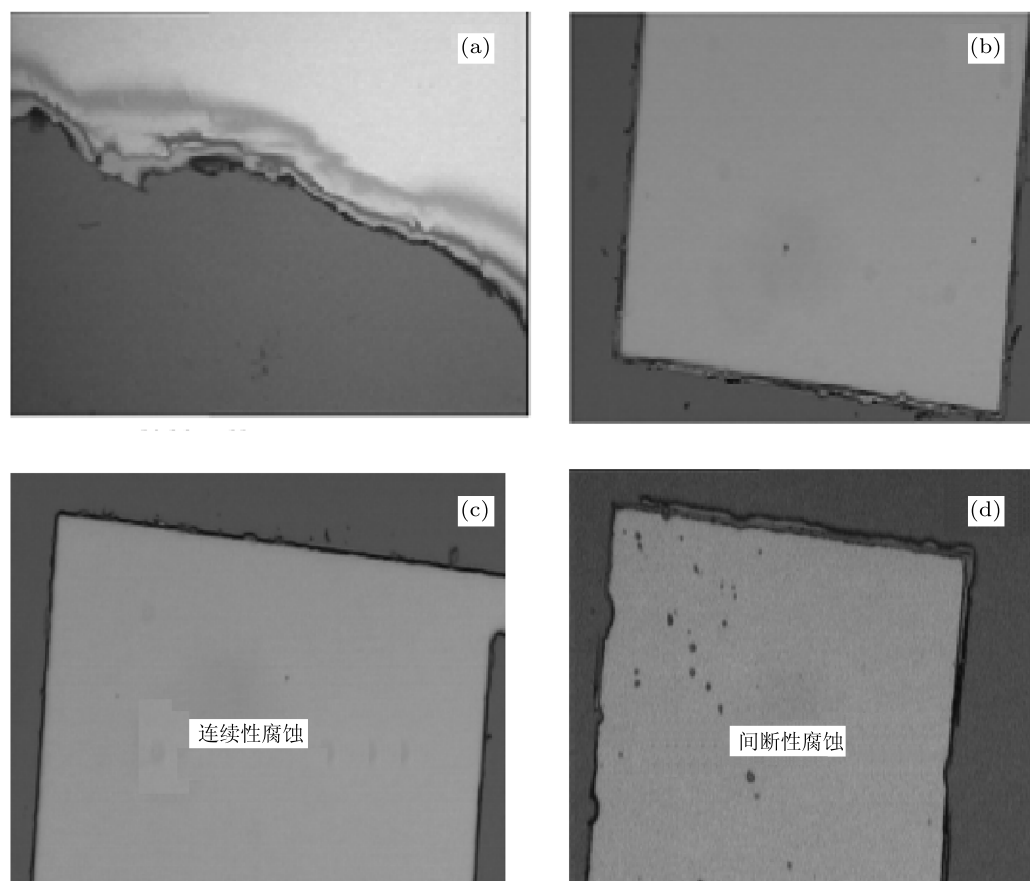


图 8 不同条件下 Si 衬底上 Si_3N_4 的湿法腐蚀情况 (a)—(d): BHF 溶液配比分别为 3 : 6 : 10, 19 : 30 : 56, 17 : 30 : 53 和 17 : 30 : 53; 腐蚀时间分别为 14 min, 60 s, 90 s 和 90 s

2.4.2 干法刻蚀

与湿法腐蚀相比,干法刻蚀能够得到更好的器件图形,具有湿法腐蚀不具备的独特优点.但是在干法刻蚀中也发现了一个问题,就是使用干法刻蚀虽然能获得好的刻蚀图形,但是残留物排出不充分的话,会对器件的电压特性产生很大的影响.

为了充分利用干、湿法刻蚀的优点,又不影响器件的光电特性,我们采用先干法刻蚀,刻蚀到只剩下最后半层时,换成湿法腐蚀,这样成功地解决了 DDBR 刻蚀难的问题.

3 器件测试与结果分析

对于制作好的样品,我们采用杭州远方公司的 PMS-50(PLUS)UV 紫外-可见光谱分析系统来测试光输出功率、流明效率和主波长,轴向光强用 LED 光强分布测试仪来测试.每个样品中都选取 10 只管芯进行测试,然后取平均值,用来进行光电测试的芯片都是压焊好没有用环氧树脂封装的裸芯片,得到的器件结果如表 4.

从测量结果来看,样品 B 在光电性能方面体现了很好的优势,与样品 A 相比,具有高效率、高亮度、光谱纯、低偏置电压、低电阻、响应灵敏、温度稳定性好、可靠性高等特点,实现了低的开启电压 1.78 V,在 20 mA 注入电流下,轴向光强提高明显,是样品 A 的 1.2 倍,光功率和光效分别提高了 27.7% 和 26.8%.

表 4 样品 A、B 光电特性测试结果

样品	开启电压/V	电阻/ Ω	电压/V	强度/mcd	输出功率/mW	效率/ $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$
A	1.82	12.4	2.3	65	1.183	4.56
B	1.78	12	2.2	78	1.51	5.78

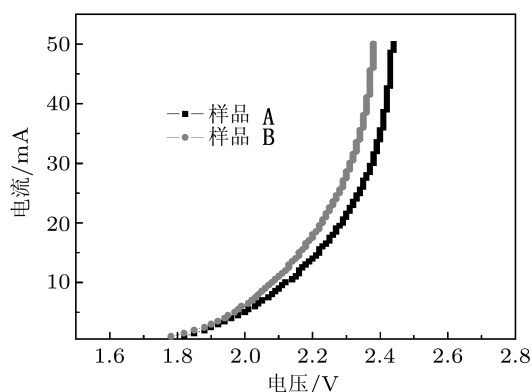


图 9 样品 A 和 B 的 I - V 特性

3.1 I - V 特性分析

图 9 是样品的电流-电压特性曲线:在正向电流 20 mA 下,样品 A 的正向电压是 2.3 V,样品 B 的正向电压是 2.2 V.这可能是由于样品 B 的 DDBR 是绝缘的,电流很少流经出光孔,一方面可以使串联电阻减小,另一方面也减小了 Ohm 接触面积,所以电压稍微偏低.

3.2 L - I 特性分析

图 10 是我们测量的 LED 芯片的轴向光强和注入电流的关系.从图中可以看出样品 B 的轴向光强大于样品 A 的轴向光强,正向电流 20 mA 时,样品 B 的轴向光强达到 78 mcd,是样品 A 轴向光强的 1.2 倍.

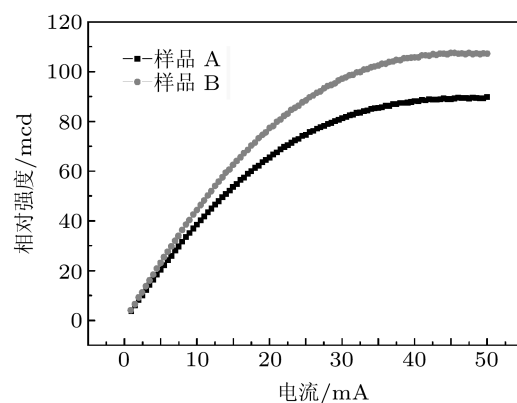


图 10 样品 A 和 B 的 L - I 特性

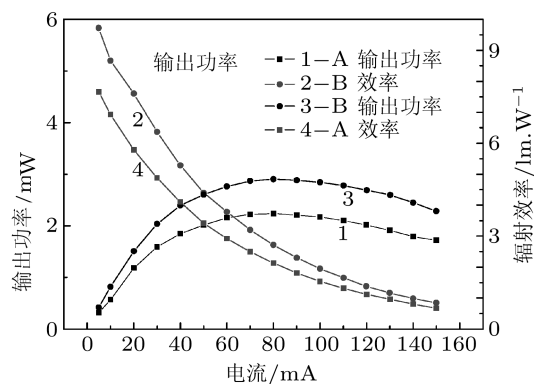


图 11 样品 A 和 B 的 P - I 特性

3.3 P - I 特性分析

我们测量了 LED 芯片的光输出功率和流明效率与注入电流的关系,结果如图 11 所示.从图 11 可以看出,样品 B 的光输出功率和流明效率都大于样品 A.正向电流 20 mA 时,样品 B 的光输出功率

和流明效率分别是样品 A 的 1.277 倍和 1.268 倍. 并且随着电流的不断增大, 光功率出现饱和现象, 但是功率衰减比较缓慢, 没有明显的下降趋势. 样品 B 的饱和电流大于样品 A, 说明了样品 B 具有良好的温度稳定性.

3.4 光谱特性分析

图 12 是样品 A 和 B 的电致发光 (EL) 谱. 在 20 mA 注入电流下, 通过对频谱图进行积分计算, 结果见表 5.

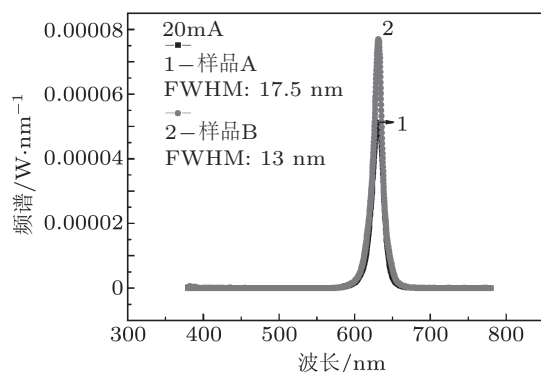


图 12 样品 A 和 B 的 EL 谱对比

对以上数据分析发现, 在 20 mA 注入电流下, 样品 B 表现出了好的优越性, 在整个 380—780 nm 波段整体辐射增强是样品 A 的 1.26 倍, 在谐振波长处辐射增强是样品 A 的 1.5 倍, EL 谱 FWHM 值由 17.5 nm 变窄为 13 nm, 比 PL 谱结果差, 可能是由于器件制作过程中的误差引起的. 但可充分说明选择适当对数 DDBR 构成的共振腔可以起到很好

的谐振效果, 不仅可以使谐振处辐射增强, 而且可以使全频谱范围内整体辐射也增强. 虽然波长向长波方向漂移了 0.6 nm, 但对器件的性能影响不大.

表 5 样品 A, B 的频谱积分计算结果 (波段: 380—780)

	谐振波辐射增强	峰值波长/nm	FHWM/nm	峰高/arb.units
样品 A	0.00109	631	17.5	5.12×10^{-5}
样品 B	0.00137	631.6	13.0	7.7×10^{-5}

4 结论

为充分研究带有透明介质 DBR(DDBR) 结构 RCLED 的性能, 我们设计了两种样品, 一种普通结构, 一种为带 DDBR 结构. 实验结果证明, 带 DDBR 结构的器件, 能够在加强大部分自发辐射复合光的同时产生更窄的发射图形, 并且减少了串联电阻和寄生电容, 在达到相同光学谐振增益的情况下, 提高了电子空穴注入的能力, 增加了电子的注入, 减少了热的产生. 在整体光电性能方面都具有很大的优势, 具有高效率、高亮度、光谱纯、低偏置电压、低电阻、响应灵敏、温度稳定性好、可靠性高等特点; 实现了低的开启电压 1.78 V; 在 20 mA 注入电流下, 轴向光强提高了 20%, 光功率和光效分别提高了 27.7% 和 26.8%. 在变电流条件下, 光功率饱和电流大, 功率衰减比较缓慢, 没有明显的下降趋势, 具有良好的温度稳定性.

非常感谢光电子技术省部共建教育部重点实验室的周扬、张君梅、吴文蓉、张晓佳、李慧敏、冀立恒对本实验的支持与帮助.

- [1] Li J J, Yang Z, Han J, Deng J, Zou D S, Kang Y Z, Ding L, Shen G D 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6304 (in Chinese) [李建军, 杨臻, 韩军, 邓军, 邹德恕, 康玉柱, 丁亮, 沈光地 2009 物理学报 **58** 6304]
- [2] Baets R G, Delbeke D 2003 *Proc. SPIE* **4996** 74
- [3] Lei P Yang C D 2008 *Sciencedirect Solid-State Electronics* **52** 227
- [4] Wei J Y, Huang B B, Qin X Y, Zhang X Y, Zhang K, Yao S S, Zhu B F, Li X Y 2005 *J. Optoelectron. Laser* **16** 1304 (in Chinese) [尉吉勇, 黄柏标, 秦晓燕, 张晓阳, 张琦, 姚书山, 朱宝富, 李宪林 2005 光电子·激光 **16** 1304]
- [5] Cui B F, Li J J, Zou D S, Lian P, Han J R, Wang D F, Du J Y, Liu Y, Zhao H M, Shen G D 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2150 (in Chinese) [崔碧峰, 李建军, 邹德恕, 廉鹏, 韩金茹, 王东风, 杜金玉, 刘莹, 赵慧敏, 沈光地 2004 物理学报 **53** 2150]
- [6] Xu M, Zhang Y H, Shen W Z 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2415 (in Chinese) [徐敏, 张月衡, 沈文忠 2007 物理学报 **56** 2415]
- [7] Schubert E F, Wang Y H, Cho A Y, Tu L W, Zydzik G J 1992 *Appl. Phys. Lett.* **60** 921
- [8] Schubert E F, Hunt N E J, Micovic M, Malik R J, Sivco D L, Cho A Y, Zydzik G J 1994 *Science* **265** 943
- [9] Blondelle J, De Neve H, Borghs G, van Daele P, Demeester P, Baets R 1996 *IEEE Colloquium on Semiconductor Optical Microcavity Devices and Photonic Bandgaps*, United Kingdom 1201
- [10] Wierer J J, Kellogg D A, Holonyak N 1999 *Appl. Phys. Lett.* **74** 926
- [11] Ghawana K, Delbeke D, Christiaens I 2002 *Proc. SPIE* 4947
- [12] Anni M, Giglia G, Patane S, Arena A, Allegrini M, Cingolani R 2002 *Physica E* **13** 451
- [13] Wang X D, Wu X M, Wang Q, Cao Y L, He G R, Tan M Q 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4983 (in Chinese) [王小东, 吴旭明, 王青, 曹玉莲, 何国荣, 谭满清 2006 物理学报 **55** 4983]
- [14] Stoffel A, Kovacs A, Kronast W 1996 *J. Micromech. Microeng.*

High performance resonant cavity light emitting diode with dielectric distributed Bragg reflectors*

Tang Yi-Dan[†] Shen Guang-Di Guo Xia Guan Bao-Lu
Jiang Wen-Jing Han Jin-Ru

(Key Laboratory of Opto-electronics Technology, Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

(Received 17 May 2010; revised manuscript received 16 April 2011)

Abstract

Dielectric distributed Bragg reflectors (DBRs) with $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ are grown by PECVD alternately. For the etching of DBR, dry and wet etching methods are both used. The reflectivity of DBR is calculated by transfer matrix method, and the high performance DBR structure is fabricated to obtain optimal reliability, we find that the enhancement factor along the cavity axis and the integrated emission enhancement factor of RCLED with 1.5 RC DBR are 1.058 and 1.5 respectively, a full width at half maximum is 10.5 nm by PL analysis. Then, high performance RCLEDs are fabricated by using an optimal DBR structure. The devices with DBR show many advantages: a lower turn-on voltage of 1.78 V, under 20 mA injection current, the output power and the luminous efficiency of the device with/without DBR gain the improvements of 27.7% and 26.8% respectively, under 0-100 mA injection current, the output power has unobvious downtrend, better characteristic saturation of optical power and temperature stability.

Keywords: light emitting diode, resonant cavity; dielectric distributed Bragg reflectors, enhanced emission intensity

PACS: 85.60.Jb

* Project Supported by the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2006AA03A121) and the National Basic Research Program of China (Grant No. 2006CB604902).

[†] E-mail: tangyidan@emails.bjut.edu.cn