本发明公开了一种倒梯形FP腔集成布拉格光栅的970nm铝镓砷半导体激光器，通过将FP腔输出端腔面微倾斜形成倒梯形结构（倾斜角度θ为2°～6°，最优3°±0.2°），结合集成布拉格光栅实现波长选择性反馈。腔长L为0.8mm～1.5mm（最优1.0mm），波导宽度W为2μm～5μm（最优3μm）。该结构显著提高纵模稳定性和光谱纯度，实现单纵模稳定输出。制备方法包括外延生长、光刻刻蚀、光栅制作和腔面处理等步骤，各层材料包括GaAs衬底、AlGaAs缓冲层、AlGaAs波导层、AlGaAs下包层、InGaAs有源区、AlGaAs上包层、欧姆接触层等。

1、一种倒梯形FP腔集成布拉格光栅的970nm铝镓砷半导体激光器，其特征在于，包括：倒梯形FP腔结构，输出端腔面倾斜角度θ为2°～6°，最优3°±0.2°，腔长L为0.8mm～1.5mm，最优1.0mm；集成布拉格光栅，实现波长选择性反馈；波导宽度W为2μm～5μm，最优3μm。

2、根据权利要求1所述的激光器，其特征在于，所述倒梯形FP腔由AlGaAs材料通过干法刻蚀形成，刻蚀气体为BCl₃/Cl₂/Ar/N₂混合气体，压力10～20mTorr，线圈功率800W，压板功率100W。

3、根据权利要求1所述的激光器，其特征在于，所述布拉格光栅周期Λ为142.6nm±5nm，深度100～200nm，通过电子束光刻结合ICP刻蚀制备。

4、根据权利要求1所述的激光器，其特征在于，所述波导层为AlGaAs材料，厚度1.5μm，Al组分0.15。

5、根据权利要求1所述的激光器，其特征在于，所述有源区为InGaAs量子阱，厚度50nm，In组分0.18。

6、一种如权利要求1所述的激光器的制备方法，其特征在于，包括以下步骤：

外延生长：在GaAs衬底上依次生长AlGaAs缓冲层、AlGaAs波导层、AlGaAs下包层、InGaAs有源区、AlGaAs上包层、欧姆接触层。

光刻刻蚀：定义波导和光栅结构，采用ICP刻蚀形成倒梯形FP腔；

光栅制作：电子束光刻结合离子束刻蚀形成布拉格光栅；

腔面处理：镀增透膜和高反射膜，优化输出耦合。

**一种倒梯形FP腔集成布拉格光栅的970nm铝镓砷半导体激光器**

**技术领域**

本发明涉及半导体激光器技术领域，尤其涉及一种倒梯形FP腔集成布拉格光栅的970nm铝镓砷半导体激光器。

**背景技术**

传统Fabry-Perot（FP）腔半导体激光器存在纵模不稳定、光谱纯度低等问题。现有技术中，通过引入布拉格光栅可提高波长选择性，但单一光栅设计难以兼顾高功率输出和单模稳定性。此外，腔面反射引起的模式竞争限制了光谱纯度的进一步提升。

**发明内容**

发明目的

本发明旨在提供一种倒梯形FP腔集成布拉格光栅的970nm铝镓砷半导体激光器，通过结构协同设计解决传统激光器纵模不稳定、光谱纯度低的问题，实现高功率单模激光的稳定输出。

技术方案

一种倒梯形FP腔集成布拉格光栅的970nm铝镓砷半导体激光器，其核心结构包括：

倒梯形FP腔结构：输出端腔面倾斜角度θ优化为3°±0.2°，该角度通过几何光学计算得出，可使腔面反射光偏离原光路12°～15°，有效避免反射光与腔内光场的干涉效应；腔长L设计为1.0mm（最优值），经仿真验证，该腔长在970nm波长下纵模间隔为0.8nm，便于布拉格光栅进行单模筛选；腔面采用AlGaAs材料通过干法刻蚀形成，刻蚀气体为BCl₃/Cl₂/Ar/N₂混合气体（体积比6:5:3:2），在15mTorr压力、800W线圈功率及100W压板功率条件下，可获得侧壁粗糙度<5nm的倒梯形结构。

集成布拉格光栅：光栅周期Λ为142.6nm±5nm，基于耦合模理论设计，对应970nm波长的布拉格反射条件；光栅深度150nm，通过电子束光刻结合ICP刻蚀制备，占空比控制在0.5±0.05，形成周期性折射率调制强度达3%～5%，实现波长选择性反馈效率>90%。

波导结构：波导宽度W优化为3μm，采用AlGaAs材料（Al组分0.15，厚度1.5μm），经有限元分析，该参数可使光场限制因子达28%，同时热阻控制在5K/W以下，平衡了光场约束与散热性能。

有源区设计：采用InGaAs量子阱结构，厚度50nm，In组分0.18，在970nm波长下实现增益峰值2500cm⁻¹，量子效率达85%以上。

技术效果

该结构通过倒梯形腔面减少反射光干扰（反射率降低至0.1%以下），结合布拉格光栅的波长选择性反馈，实现了以下技术突破：

单纵模稳定输出，边模抑制比>40dB；

光谱宽度<0.5nm，接近理论极限；

高功率特性优异，连续输出功率>10W，功率密度达3.3kW/cm²；

温度稳定性好，在20℃～60℃工作范围内波长漂移<0.05nm/℃。

**附图说明**

图1：激光器整体结构示意图。

1. GaAs衬底
2. AlGaAs缓冲层
3. AlGaAs下包层
4. InGaAs有源区
5. AlGaAs波导层
6. AlGaAs上包层
7. 欧姆接触层
8. 倒梯形FP腔面
9. 布拉格光栅

图2：倒梯形FP腔侧视结构，包括波导宽度。

图3：制备工艺流程图，包括外延、光刻、刻蚀、光栅制作、镀膜和封装。

**具体实施方式**

一、外延生长工艺

衬底准备：选用n型GaAs衬底（厚度300μm，掺杂浓度1×10¹⁸cm⁻³），经有机试剂超声清洗15分钟，去离子水冲洗后烘干，放入分子束外延（MBE）设备腔体。

缓冲层生长：在650℃温度下，以三甲基铝（TMA）、三甲基镓（TMG）和砷烷（AsH₃）为气源，生长Al组分0.3的AlGaAs缓冲层，厚度100nm，生长速率0.5μm/h，有效减少衬底与外延层的应力失配。

波导层生长：温度降至620℃，调整TMA流量，生长Al组分0.15的AlGaAs波导层，厚度1.5μm，通过调节V/III族源流量比至20:1，控制材料折射率差达1.2%。

下包层生长：温度维持620℃，调整TMA流量，生长Al组分0.3的AlGaAs下包层，厚度1.5μm，与上包层形成对称载流子限制结构。

有源区生长：采用低温生长技术，在580℃下生长InGaAs量子阱，In组分0.18，厚度50nm，通过实时反射高能电子衍射（RHEED）监测表面平整度，粗糙度<1nm。

上包层生长：温度回升至650℃，生长Al组分0.3的AlGaAs上包层，厚度1.5μm，实现对载流子的有效限制。

欧姆接触层生长：最后在550℃下生长p型GaAs接触层，厚度100nm，掺杂浓度5×10¹⁸cm⁻³，采用锌（Zn）作为掺杂源，确保与电极形成低阻接触。

二、光刻刻蚀工艺

电子束光刻：使用Raith150电子束光刻机，在样品表面旋涂PMMA950K光刻胶（厚度1μm），电子束加速电压50kV，曝光剂量150μC/cm²，定义波导和光栅图案，通过显影（甲基异丁基酮：异丙醇=1:3）和定影工艺形成光刻胶掩模。

ICP刻蚀：采用OxfordPlasmalab100刻蚀系统，刻蚀气体为BCl₃/Cl₂/Ar/N₂（流量比6:5:3:2），腔室压力15mTorr，线圈功率800W，压板功率100W，刻蚀时间5分钟，形成倾斜角度3°的倒梯形FP腔结构及宽度3μm的波导，刻蚀速率控制在300nm/min，侧壁垂直度偏差<1°。

三、布拉格光栅制作

光栅图案定义：二次电子束光刻，优化曝光剂量至180μC/cm²，定义周期142.6nm的光栅条纹，占空比0.5，采用lift-off工艺去除多余光刻胶，形成金属（Cr/Au）掩模。

离子束刻蚀：使用PlassysMEB550离子束刻蚀机，刻蚀气体为Ar，加速电压1000V，束流密度15mA/cm²，刻蚀深度150nm，通过实时监测刻蚀速率（10nm/min）确保深度精度，形成周期性折射率调制结构。

四、腔面处理工艺

输出端增透膜：采用电子束蒸发技术，依次沉积Al₂O₃（厚度80nm）和SiO₂（厚度120nm），形成λ/4多层膜系，在970nm波长处反射率<0.1%，透过率>99.5%。

输入端高反射膜：沉积TiO₂（厚度150nm）和SiO₂（厚度90nm），形成四分之一波长堆垛结构，反射率>95%，优化腔内光场分布。

五、封装测试工艺

芯片切割：采用CO₂激光切割技术，沿非倾斜腔面方向切割，确保腔长精度±5μm，切割后进行腔面钝化处理（沉积SiNx薄膜）。

热沉焊接：将芯片p面朝下焊接至铜热沉（厚度1mm，表面镀金），采用In焊料（熔点156℃），在真空环境（压强<1×10⁻³Pa）下200℃回流焊接10分钟，热阻测试值4.8K/W。

性能测试：在25℃恒温条件下，采用电流源驱动，测试结果如下：

阈值电流：35mA；

斜率效率：1.2W/A；

最大输出功率：12.5W（电流10A时）；

光谱宽度（FWHM）：0.35nm；

边模抑制比：43dB；

光束质量因子M²：1.2（快轴）/1.8（慢轴）。尽管已经示出和描述了本发明的实施例，对于本领域的普通技术人员而言，可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型，本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

图1

图2

图3