

## ОДНОЧАСТОТНЫЕ ЛАЗЕРЫ ЗАРОЩЕННОГО ТИПА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ (РОС) В ДИАПАЗОНЕ 1,5 МКМ

Е.Г. Голикова, В.П. Дураев, П.Г. Елисеев, В.И. Швейкин

*Низкопороговые РОС-лазеры, работающие в диапазоне 1,5 мкм, изготовлены с помощью четырехэтапной гибридной эпитаксиальной методики. Порог в непрерывном режиме составил 30 мА при комнатной температуре, одночастотный выход в РОС-моду составил более 8 мВт.*

Лазеры на основе четверной системы индий-галлий-фосфор-мышьяк /1/ стали наиболее освоенными источниками для различных коммуникационных применений. Лазеры с распределенной обратной связью (РОС) этого типа /2, 3/ привлекательны для практических задач, в которых желательна стабильность длины волны и малая ширина линии. Ранее сообщалось о низкопороговых зарощенных гетероструктурах, изготовленных методом жидкофазной гетероэпитаксии на подложке фосфида индия р-типа, для источников диапазона 1,3 /4/ и 1,55 мкм /5/. Приборы работали в широком диапазоне температуры (до 100 °С) /6/ с обычными резонаторами Фабри — Перо и некоторые из них демонстрировали низкопороговые характеристики (около 4-5 мА при 20 °С) /7/. В /8/ сообщалось о гибридной методике изготовления приборов с МОС-гибридным (т.е. путем осаждения из смеси металлоорганики и гидридов) зарощиванием мезаполосок для обеспечения эффективной изоляции в чипе диода вне полоски. В отличие от обычного метода (со встречными р-п переходами для блокирования нежелательного тока через чип) МОС-гибридный метод обеспечивает зарощивание мезаполосок высокоомным легированным железом материалом (полуизолирующим фосфидом индия). В результате увеличивается сопротивление блокирующих слоев и уменьшается токовая утечка вне активной полоски. В данной статье сообщается о разработке РОС-лазера на четверной системе с решеткой на трехслойном волноводе, излучающего на длине волны 1,5 мкм. Лазер выращен методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ), блокирующий слой InP:Fe выращен МОС-гидридным методом.

Процесс изготовления включал несколько этапов, в том числе четыре эпитаксиальные процедуры (из них три ЖФЭ и одна МОС-гидридная). Использовались (100) подложки фосфида индия р-типа для первого этапа ЖФЭ, в котором изготавливался эпитаксиальный слой толщиной 4 мкм такого же материала (р-эмиттер), имеющий зеркальную поверхность. Дырочная концентрация как и в подложке составляла  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . РОС-решетка с периодом около 450 нм наносилась на поверхность фотолитографическим методом при интерференционной засветке

гелий-кадмиевым лазером. Второй этап ЖФЭ состоял в выращивании "трехслойного волновода" /8/ (ступенчатой структуры типа "раздельного ограничения"), состоящего из: а) волноводного четверного нелегированного слоя толщиной 0,15 мкм с краевой люминесценцией на 1,3 мкм; б) активного четверного нелегированного слоя толщиной 0,06-0,10 мкм с люминесценцией на 1,55 мкм; в) второго волноводного слоя, аналогичного слою (а); г) слоя фосфида индия п-типа с примесью олова и электронной концентрацией около  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  (п-эмиттер).

После второго эпитаксиального процесса пластины были обработаны фоголитографическим методом и на них вытравлены мезаполоски шириной 7 мкм вдоль направления [011], перпендикулярного плоскости близкой к (011). Чтобы получить блокирующие слои вне мезы, проводился этап МОС-гидридного зарощивания. Морфология слоев зарощивания обычно не вполне удовлетворительная, так как вдоль обеих сторон зарощенной мезаполоски остаются ростовые канавки. Для улучшения морфологии и получения низкоомного широкого контакта проводился еще один процесс выращивания приконтактного слоя фосфида индия  $p^+$ -типа поверх многослойной структуры. Толщина этого слоя составляла 5 мкм, электронная концентрация около  $4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Окончательная поверхность была гладкой и пригодной для однородной металлизации и припайки. Толщина приконтактного слоя оптимизирована для обеспечения достаточной дистанции между активной областью лазера и контактной поверхностью чипа. Это расстояние выбирается как компромисс между следующими требованиями. Для того, чтобы избежать влияния металлургических нестабильностей в припое на надежность лазера и быстрой миграции примесных атомов от контактной поверхности к активной области (ведущей к некоторым деградационным процессам, т.е., способной также вызвать отказ) толщину приконтактного слоя следует увеличить. Для уменьшения теплового сопротивления диода это расстояние желательно уменьшить.

После выращивания и металлизации производилось скалывание на чипы, которые затем укреплялись на медном теплоотводящем держателе с помощью оловянно-свинцового припоя. Диэлектрические покрытия наносились на обе стороны диода асимметрично, чтобы уменьшить отражение от фронтальной грани и обеспечить селекцию спектральной линии на краю брэгговской щели в спектре излучения РОС-лазера. Схема диода показана на рис. 1.

Ряд низкопороговых диодов изучался при комнатной температуре в непрерывном и импульсном режимах. Низшее значение порогового тока составил 30 мА при 25 °С для образца с резонатором длиной 250 мкм. Примеры ватт-амперных характеристик и спектров одночастотной генерации даны на рис. 2. Термоэлектрическая стабилизация лазерного диода позволяет избежать заметного смещения спектральной линии при изменении мощности излучения от порога генерации до более чем 8 мВт. Аналогичные результаты получены на длинах волн в диапазоне 1,50—1,55 мкм. Сужение спектральной линии с ростом мощности излучения прослежено до предела разрешения использованного интерферометра, равного 20 МГц.

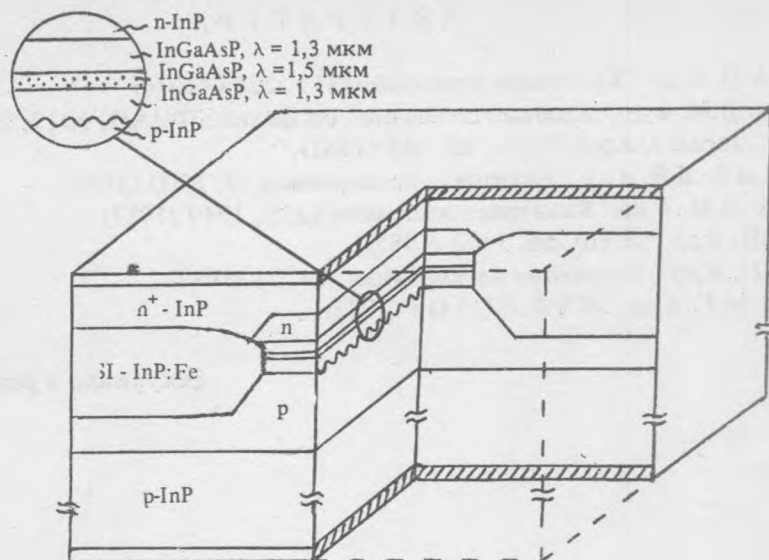


Рис. 1. Схема зарощенной гетероструктуры РОС-лазера.

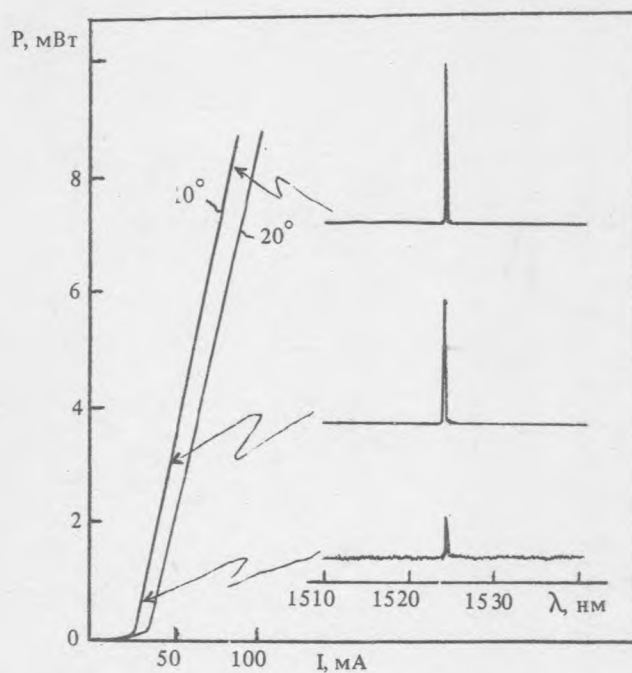


Рис. 2. Ватт-амперные характеристики с термостабилизацией при 10 и 20 °С и спектры излучения РОС-лазера.

Таким образом, в данной работе сообщается об изготовлении и изучении низкороговых РОС-лазеров на основе InGaAsP/InP с применением многоэтапной эпитаксиальной методики. Получено стабильное одночастотное излучение в диапазоне длин волн, оптимальном для передачи информации по волоконным световодам. Мощность одночастотного излучения составила 8 мВт.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богатов А.П. и др. Квантовая электроника, **1**, 2294 (1974).
2. Долгинов Л.М. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, №12, 24 (1978).
3. Mikami O. Japan J. Appl. Phys., **20**, 488 (1981).
4. Безотосный В.В. и др. Квантовая электроника, **7**, 1990 (1980).
5. Долгинов Л.М. и др. Квантовая электроника, **9**, 1749 (1982).
6. Дураев В.П. и др. ЖТФ, **56**, 1570 (1987).
7. Дураев В.П. и др. Квантовая электроника, **14**, 73 (1987).
8. Васильев М.Г. и др. ЖТФ, **53**, 1413 (1983).

Поступила в редакцию 3 декабря 1990 г.