

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ СРЕДЫ
ЛАЗЕРОВ С СЕКЦИОНИРОВАННЫМ ПЛАЗМЕННЫМ
ИСТОЧНИКОМ ПАРОВ МЕТАЛЛОВВ.В. Аполлонов, С.И. Державин,
А.М. Прохоров, А.А. Сироткин

В [1-2] сообщается о создании лазера с секционированным плазменным источником паров металлов (*SPER*-лазер) и получении генерации на переходах атомов и ионов в ИК, видимом и УФ диапазонах длин волн. Авторы полагают, что формирование активной среды (АС) происходит по следующей схеме. При воздействии высоковольтного и сильноточного импульса в зазорах между электродами лазерного элемента образуется плазма высокой плотности, состоящая из испаренного материала электродов. Эта плазма полусферически расширяется, охлаждается в результате разлета и столкновений с окружающим буферным газом низкого давления и рекомбинирует.

Однако целенаправленных исследований, подтверждающих предложенный механизм формирования АС в данном типе лазера проведено не было. Этой цели и отвечает настоящая работа.

Нами использовалась экспериментальная установка, представленная на рис. 1. Активные элементы лазеров состояли из серии (30-60 шт.) металлических (*Cd, Zn, In*) электродов (размерами $12 \times 2 \times 1 \text{ мм}^3$), расположенных на стеклянной подложке друг за другом с зазором 1-2 мм. Накачка осуществлялась прямоугольными импульсами тока $I_H = 20-500 \text{ А}$ (напряжение $U = 10-20 \text{ кВ}$) длительностью 0.5-6 мкс. Ось резонатора располагалась параллельно ряду металлических электродов на расстоянии $z = 0-20 \text{ мм}$. Спектральные линии выделялись монохроматором МД Р-4, спектрографом ДФС-452 и регистрировались фотодиодом ФД 9Э-111 и ФЭУ. Динамика разлета плазмы изучалась с помощью электронно-оптического фоторегистратора ФЭР-7.

В настоящей работе получен ряд экспериментальных результатов, которые имеют принципиальное значение для проведения анализа механизмов формирования АС *SPER*-лазера.

1. Из временных разверток свечения плазмы видно (см. рис. 2), что на переднем фронте импульса тока накачки возникает резкий всплеск свечения, который связан с ионизацией буферного газа УФ излучением [3], затем наблюдается разлет плазмы, образованной в зазорах между электродами. Эксперименты с внутррезонансным лазерным спектрографом показали, что сразу за передним фронтом I_H регистрируются возбужденные атомы буферного газа He для z в диапазоне от 0 до 16 мм. Таким образом, плазма разлетается в предварительно предыонизованный буферный газ.

2. Воздействие дополнительного импульса тока (рис. 2) вызывало свечение плазмы сразу по всему ее объему и не имело харак-

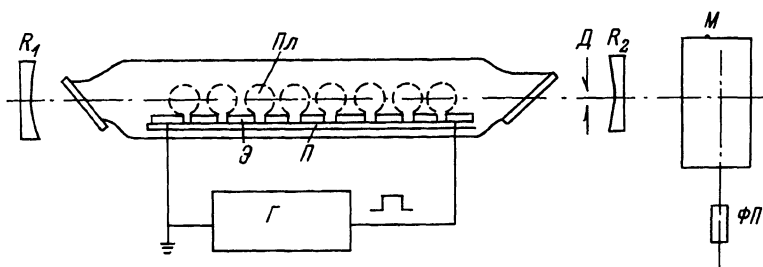


Рис. 1. Схема установки. Э - металлические (Cd, Zn, In) электроды, П - диэлектрическая подложка, Пл - плазма, Г - генератор прямоугольных импульсов, R_1 и R_2 - диэлектрические зеркала, Д - диафрагма, М - монохроматор, ФП - фотоприемник.

терной формы свечения при разлете. Если дополнительный импульс тока совпадал по времени с импульсом излучения лазера, то наблюдался срыв генерации для любых τ без временной задержки. Это возможно, если ток одновременно идет по всему объему образованной плазмы, либо действует жесткий ионизатор. Характер излучения спектральных линий при резком обрыве тока был одинаков для всех τ , что также указывает на растекание тока по объему плазмы. Следовательно, накачка осуществляется в течение времени воздействия импульса тока τ_H по всему объему разлетающейся плазмы.

3. В наших экспериментах пространственно-временное распределение интенсивности спектральных линий He I, He II, $Cd I$, $Cd II$ было аналогично соответствующему распределению излучения в смесях He-Cd (He-Zn) при их накачке в проточном разряде [4]. Отличие состояло в том, что момент начала свечения атомов и ионов паров металла на различных расстояниях от электродов определялся скоростью разлета плазмы. Необходимо отметить, что наблюдалось одновременное свечение спектральных линий паров металла и буферного газа. То есть в процессе формирования и разлета плазмы происходило эффективное перемешивание паров металла и буферного газа.

4. Замена буферного газа гелия на неон приводила к уменьшению (почти на порядок) интенсивности свечения спектральных линий с уровней 9P, 8D, 6F, 6G в случае C II (6P, 5D, 4F в случае Zn II), которые могут заселяться в результате реакции перезарядки на ионах He^+ . Было показано, что для указанных выше линий изменялся временной характер свечения. В случае неона при обрыве тока отсутствовало длительное послесвечение, характерное при использовании буферного газа He, наблюдался лишь кратковременный рекомбинационный всплеск.

Данные эксперименты непосредственно показывают, что процесс образования ионов металла связан с реакцией перезарядки атомов металла с ионами буферного газа. По-видимому, возможно протекание и других плазмохимических реакций.

5. Было получено, что оптимальная длительность импульса накачки лазера $\tau_H \sim 3$ мкс. Скорость разлета плазмы $U_{Пл}$ составля-

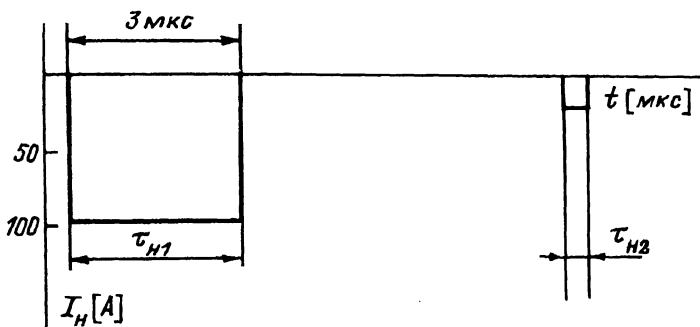


Рис. 2. Временная развертка свечения плазмы и осциллограмма импульсов тока накачки I_H .

ла $\sim 4 \cdot 10^5$ см/с при $I_H = 100$ А и давлении буферного газа $P \sim 3$ торр. За время τ_H плазма расширяется до размеров ~ 10 – 15 мм и после обрыва тока начинается процесс охлаждения плазмы. В этих условиях оценки скорости охлаждения показывают, что охлаждение за счет упругих столкновений по крайней мере на порядок эффективнее, чем разлетное.

На основании приведенных выше экспериментальных результатов можно представить следующий механизм формирования активных сред в лазерах с секционированным плазменным источником паров металлов.

При воздействии высоковольтного импульса к крайним электродам активного элемента лазера в каждом зазоре между пластинами образуется плазма, состоящая из паров металла и буферного газа. Плазма расширяется в предыонизованный буферный газ. Ионы металла образуются в результате реакции перезарядки с ионами Ne^+ , Ne^{2+} . После окончания импульса тока плазма охлаждается в столкновениях с буферным газом.

Вопрос о механизме образования инверсной населенности необходимо рассматривать для каждого конкретного химического элемента и спектрального перехода.

Таким образом, в настоящей работе показано, что в процессе формирования активной среды *SPER*-лазера наблюдаются следующие физические процессы: а) предыонизация буферного газа; б) растекание тока по объему разлетающейся плазмы; в) перемешивание паров металла и буферного газа при разлете плазмы; г) протекание плазмохимических реакций в разлетающейся плазме; д) преимущественно столкновительный механизм охлаждения плазмы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Silfvast W.T., Szeto L.H., and Wood O.R., II - Appl. Phys. Lett., 1980, v. 36, p. 615-617.
- [2] Silfvast W.T., Szeto L.H., and Wood O.R., II - Appl. Phys. Lett., 1982, v. 39, p. 212-214.
- [3] Apollonov V.V., Derzhavin S.I., Prokhorov A.M., Sirotkin A.A. - SPIE, 1986, v. 664, p. 291-295.
- [4] Латуш В.Л., Михалевский В.С., Сэм М.Ф. - Оптика и спектроскопия, 1983, т. 34, № 2, с. 214-220.

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
25 декабря 1987 г.
В окончательной редакции
1 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 11

12 июня 1988 г.

ЛАВИННЫЙ ФОТОДИОД С РАЗДЕЛЕННЫМИ ОБЛАСТЯМИ ПОГЛОЩЕНИЯ И УМНОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ $GaInAsSb/GaAlAsSb$

И.А. Андреев, М.А. Афраилов,
А.Н. Баранов, М.А. Мирсагатов,
М.П. Михайлова, Ю.П. Яковлев

В работе [1] нами сообщалось о первых результатах по исследованию лавинного умножения фототока в гетероструктурах на основе многокомпонентных твердых растворов $GaInAsSb/GaAlAsSb$. Было показано, что такие материалы перспективны для создания лавинных фотодиодов, работающих в спектральном диапазоне 1.6-2.5 мкм, представляющем интерес, например, для задач волоконно-оптической связи третьего поколения [2].