

АЗОТНЫЙ ЛАЗЕР, ВОЗБУЖДАЕМЫЙ СВОБОДНО ЛОКАЛИЗОВАННЫМ СВЧ-РАЗРЯДОМ

А.А. Б а б и н, А.Л. В и х а р е в,
В.А. Г и н ц б у р г, О.А. И в а н о в,
Н.Г. К о л г а н о в, М.И. Ф у к с

В настоящее время проведен ряд успешных экспериментов по возбуждению газовых лазеров с помощью СВЧ разряда [1-4]. Основными достоинствами такого способа накачки являются: технологичность транспортировки СВЧ энергии и ее ввода в лазерное устройство, эффективность поглощения электромагнитной энергии в плазме разряда, отсутствие неустойчивостей плазмы, инициируемых электродами в электроразрядных лазерах, длительное сохранение чистоты лазерной смеси из-за отсутствия электродов, достижение высоких удельных мощностей накачки. При СВЧ накачке эксимерных лазеров и лазеров на электронных переходах атомов и молекул представляется перспективным использование релятивистских СВЧ генераторов, позволяющих получать в разряде высокие значения концентрации (порядка критической $N_c = m(\omega^2 + \nu^2)/4\pi e^2$) и температуры электронов, необходимые для эффективного возбуждения электронных уровней. Кроме того, при работе с релятивистскими СВЧ генераторами отпадает необходимость в специальных устройствах для предионизации газовой среды, поскольку тормозное излучение релятивистского электронного пучка генератора используется для создания начальной концентрации электронов, обеспечивая тем самым однородность СВЧ разряда.

Успехи релятивистской СВЧ электроники в значительной мере достигнуты благодаря переходу к сверхразмерным многомодовым электродинамическим системам. Вывод энергии из таких приборов обычно осуществляется в виде волнового пучка, а для транспортировки энергии используются зеркальные линии. Уровень мощности релятивистских СВЧ генераторов позволяет зажигать СВЧ разряд в волновом пучке на значительном расстоянии от источника и использовать его для дистанционной накачки газовых лазеров.

В ранее применявшихся схемах СВЧ накачки лазерная трубка с активной средой располагалась в волноводе [1-3] или полосковой линии [4]. В таких конструкциях возникают ограничения на величину транспортируемой СВЧ мощности пробоем воздуха или (при откачке волновода) поверхностным электронным разрядом. В данной работе приводятся результаты исследования азотного лазера, возбуждаемого свободно локализованным СВЧ разрядом в волновом пучке.

Источником СВЧ излучения служил релятивистский генератор трехсантиметрового диапазона типа резонансной ЛБВ [5]. Лазерная смесь (азот высокой чистоты, воздух) в запаянной кварцевой трубке

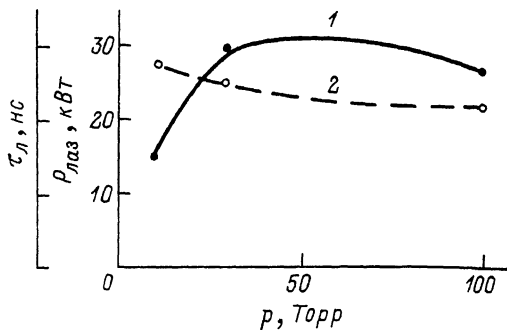
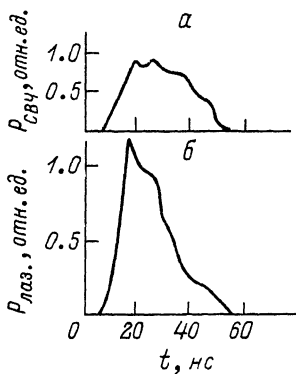


Рис. 1. Осциллограммы СВЧ импульса и импульса лазерной генерации при давлении азота $p=100$ торр.

Рис. 2. Зависимости мощности лазерного излучения (1) и длительности лазерного импульса от давления азота (трубка диаметром 1 см).

(диаметром 1 см или 2 см и длиной 80 см) помещалась в волновом пучке. Напряженность электрического поля в области расположения трубки достигала величины $E=15-20$ кВ/см. Давление газа в трубке было $p=10-100$ торр. СВЧ излучение имело круговую поляризацию, а длительность импульса равнялась $\tau \approx 30$ нс. При СВЧ пробое лазерной среды образовывался протяженный плазменный шнур. Значительный уровень предварительной ионизации (по оценкам из энергетики электронного пучка до плотности 10^5-10^6 см $^{-3}$) позволял создавать однородный разряд.

Разрядная трубка имела кварцевые окна, расположенные под углом Брюстера к ее оси. Оптический резонатор длиной 90 см состоял из алюминиевого зеркала и плоскопараллельной кварцевой пластинки. Контроль лазерного излучения осуществлялся с помощью оптических ослабителей и фотоэлектрического преобразователя ФК-19. Форма лазерного и СВЧ импульсов регистрировалась фотоприставкой на осциллографе ВЛОР-04М. Калибровка ослабителей и ФК-19 проводилась азотным лазером ЛГИ-21 и калориметром ИМО-2Н. На рис. 1 приведены осциллограммы СВЧ импульса (рис. 1, а) и импульса лазерной генерации (рис. 1, б) при давлении $p=100$ торр. На рис. 2 приведены зависимости мощности лазерного излучения (кривая 1) и длительности лазерного импульса (кривая 2) от давления азота для трубки диаметром 1 см. Как показали эксперименты, длительность лазерного излучения слабо зависела от давления газа и практически совпадала с длительностью СВЧ излучения. Этот результат показывает отличие возбуждения СВЧ разрядом от накачки электрическим разрядом, для которого характерно резкое уменьшение длительности генерации с ростом давления.

Исследования спектра лазерного излучения проводились на спектрографе ИСП-30. Анализ спектрограмм показал, что лазерная генерация наблюдается на электронных переходах $c^3P_u - B^3P_g$ второй положительной системы азота в полосах 0-0 ($\lambda = 337.1$ нм), 0-1 ($\lambda = 357.7$ нм) и 1-0 ($\lambda = 315.9$ нм). Причем интенсивность излучения в полосе 0-0 соответственно в 25 и 110 раз превышает интенсивность излучения в полосах 0-1 и 1-0.

Импульсная мощность лазерной генерации для трубки диаметром 2 см составляла (60-70) кВт в диапазоне давлений $p=30-100$ торр. В волноводной конструкции [3] при примерно такой же СВЧ мощности и размерах лазерной трубки была получена существенно меньшая мощность лазерной генерации. Пространственное распределение интенсивности излучения по сечению трубки имело вид кольца с внешним радиусом, равным радиусу трубки, и толщиной 3-6 мм. Энергии лазерного излучения, приходящиеся на единицу площади кольца, в три раза превышали энергию излучения из центра трубки. Для трубки с диаметром 1 см мощность генерации уменьшалась пропорционально объему разрядной плазмы. Эффективность накачки (определяемая, как отношение мощности лазерной генерации к мощности падающего СВЧ импульса) составляла $10^{-4}-10^{-3}$, а удельный энергосъем составлял (0.5-1) Дж/атм.л. При заполнении трубки воздухом мощность генерации снижалась в 6-7 раз по сравнению с азотом.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность создания ультрафиолетового азотного лазера большой длительности на основе свободно локализованного СВЧ разряда в волновом пучке.

В заключение авторы выражают благодарность Н.Ф. Ковалеву, А.Г. Литваку, М.М. Офицерову за поддержку работы и полезные обсуждения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] J o u n g J.F., H a r r i s S.E., W i s o f f P.J.k. et al. Laser focus, 1982, v. 18, N 4, p. 63-67.
- [2] Д и д е н к о В.А., П е т р о в В.М., С л и н к о В.И. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. № 20. С. 1245-1249.
- [3] В а у л и н В.А., С л и н к о В.Н., С у л а к ш и н С.С. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 1. С. 61-63.
- [4] C h r i s t e n s e n C.P., W a y n a n t R.W., F e l d m a n B.J. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 4. P. 321-323.
- [5] А б у б а к и р о в Э.Б., Г и н ц б у р г В.А., З а й - ц е в Н.И. и др. В кн.: Тезисы докладов VII Всесоюзного симпозиума по сильноточной электронике. Новосибирск, 1988.
- [6] Р а ж е в А.М., Т е л е г и н Г.Г. // Зарубежная радио-электроника. 1978. № 3. С. 76-94.