

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
24 февраля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 10

26 мая 1988 г.

УФ-ЛАЗЕР НА МОЛЕКУЛЕ АЗОТА, ВОЗБУЖДАЕМЫЙ СИЛЬНОТОЧНЫМ СКОЛЬЗЯЩИМ ПО ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА РАЗРЯДОМ

П.П. Б р ы н з а л о в, Б.О. З и к р и н,
Н.В. К а р л о в, И.О. К о в а л е в,
А.В. К о р а б л е в, Г.П. К у з ь м и н,
В.Ф. П е р о в

Скользящий по поверхности диэлектрика разряд находит все более широкое применение в качестве эффективного источника предионизации и плазменных электродов при создании мощных газовых лазеров [1-4], импульсных источников света [5], сильноточных коммутаторов 6 и других устройств.

Проведенные ранее исследования показали, что скользящий разряд локализован в малой области у поверхности диэлектрика с толщиной менее одного миллиметра [7] и при импульсных напряжениях 50-200 кВ получены плазменные поверхности длиной до 200 см [8].

Известно, что в лазере с большим коэффициентом усиления активной среды расходимость излучения в направлении оптической оси лазера определяется отношением поперечных размеров разрядной области к ее длине. В работе [9] при оптимизации ряда параметров лазера достигнута расходимость излучения 0.2×0.3 мрад.

В нашей работе исследована схема возбуждения азотного УФ лазера на основе скользящего по поверхности диэлектрика разряда и показано, что в этом случае в поперечном направлении к плоскости скользящего разряда расходимость излучения близка к данным работы [9].

В работах [10, 11] генерация азотного лазера при накачке скользящим разрядом была получена либо в разрыве линии [10], либо при коаксиальном возбуждении разряда [11]. В нашем случае не применялось особых мер к формированию наносекундного импульса тока накачки.

Скользящий разряд развивался по поверхности с размерами 750×44 мм². В качестве диэлектрика использовалась полированная с двух сторон пластина из кристаллического лейкосапфира с

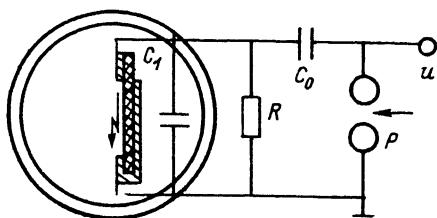


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. C_0 - накопительная емкость, C_1 - обостряющая емкость, R - зарядное сопротивление, P - искровой разрядник.

размерами $80 \times 80 \text{ мм}^2$, толщиной 1 мм; электроды выполнены из листовой стали, толщиной 0.1 мм. На рис. 1 представлена электрическая схема импульсного питания скользящего разряда. При величине емкости $C_0 = 15 \text{ нФ}$ и $C_1 = 2.5 \text{ нФ}$, индуктивность контура составила около 100 нГ, а длительность импульса напряжения по полувысоте - 60 нс. Конструкция лазера представляла собой газовую камеру круглого сечения, в которой размещалась электродная система скользящего разряда вместе с обостряющей емкостью C_1 . Вне камеры находилась остальная часть импульсной схемы питания лазера. Резонатор лазера длиной 1 метр состоял из плоского алюминиевого зеркала и плоскопараллельной кварцевой пластины. Спектр излучения лазера регистрировался с помощью зеркального монохроматора СРМ-2, энергия в импульсе измерялась ИМО-2Н, а временные характеристики исследовались фотодиодом ЛФД-2 и осциллографом С 1-75.

Для оптимизации энергетических характеристик лазера были проведены исследования зависимости величины энергии лазерного импульса от вкладываемой в скользящий разряд энергии. На рис. 2 представлены полученные зависимости. Кривые (1) и (2) отражают зависимость энергии импульса и соответствующего ему значения КПД лазера от энергии накопительной емкости C_0 при изменении в диапазоне 5-25 нФ ($U = 55 \text{ кВ}$). Как видно из рис. 2, зависимость энергии генерации (кривая 1) выходит на насыщение при $W_0 = 25-30 \text{ Дж}$, или, в перерасчете на единицу площади разряда по поверхности диэлектрика, 0.1 Дж/см^2 . КПД лазера, определяемый отношением энергии лазерного импульса к энергии, запасаемой в конденсаторе C_0 (кривая 2), уменьшается с ростом вкладываемой в разряд энергии. На рис. 2 приведены также кривые (3) и (4), которые представляют зависимость энергии импульса и соответствующего ему значения КПД от энергии, накопительной емкости C_0 при изменении зарядного напряжения в диапазоне 20-65 кВ ($C_0 = 15 \text{ нФ}$, $C_1 = 1.5 \text{ нФ}$). Как видно из рис. 2, в исследованном нами диапазоне напряжений наблюдается близко к линейному рост энергии лазерного импульса.

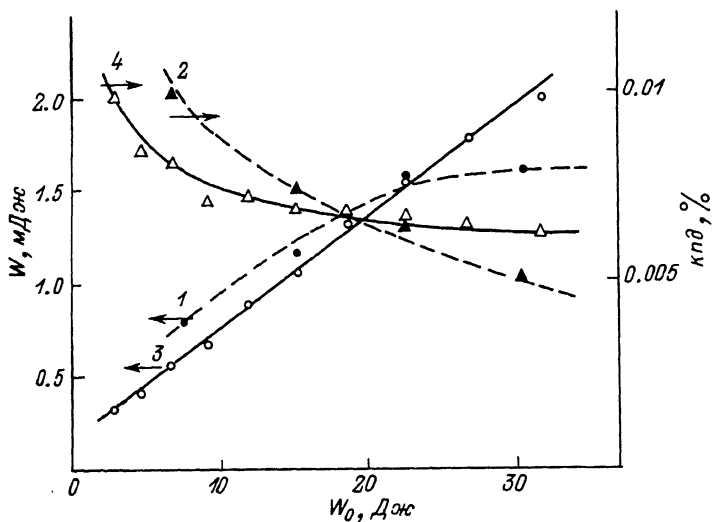


Рис. 2. Зависимости энергии генерации и КПД лазера от энергии, вкладываемой в разряд при $P_{N_2} = 18$ Торр. а) (1) и (2) — при изменении емкости накопительного конденсатора, б) (3) и (4) — при изменении зарядного напряжения ($C_0 = 15$ нФ, $C_1 = 2.5$ нФ).

Исследование зависимости энергии генерации от давления азота показало, что генерация наблюдается в диапазоне давлений 5–100 Торр. Максимальная энергия в импульсе достигает при давлении азота 15–20 Торр. При замене технического азота на особо чистый не было замечено существенного изменения в работе лазера.

При давлении газа $P = 18$ Торр исследовано распределение энергии в лазерном пятне. Для этого использовался чувствительный пироэлектрический приемник, перед которым устанавливалась щелевая диафрагма. В ближней зоне (20 см от выходного окна лазера) размеры лазерного пятна на полувысоте от максимальной интенсивности составили $(0.5-0.6) \times 22.5$ мм². При максимальной энергии лазерного импульса, полученной в данной конструкции лазера $W = 2$ мДж и определенной по полувысоте длительности импульса $\tau = 6.5$ нс, имеем плотность мощности 1–3 МВт/см². При этом плотность тока разряда достигала 2–3 кА/см². Исследование распределения энергии в лазерном пятне на большом удалении от лазера (5.5 м) позволили оценить расходимость лазерного излучения. Расходимость на уровне половинной от максимальной интенсивности составила 0.45×8.0 мрад. соответственно в поперечном и продольном направлениях к плоскости скользящего разряда. Важно отметить,

что расходимостью в продольном направлении можно управлять, меняя зазор между электродными пластинами.

При давлении газа 18 Торр было установлено что: а) генерация возникает на длине волны 337.1 нм; б) генерация возникает на переднем фронте импульса тока завершённой стадии скользящего по диэлектрику разряда.

Таким образом, проведенные исследования показали, что УФ генерация на молекуле азота происходит в тонком слое (< 1 мм), при этом лазерное излучение обладает малой расходимостью и высокой плотностью мощности. Кроме того, в данной конструкции наблюдалась генерация на атоме неона на самоограниченном переходе в зеленой области спектра ($\lambda = 540$ нм).

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность А.М. Прохорову за поддержку этой работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Андреев С.И., Белоусова И.М. и др. - Квантовая электроника, 1976, т. 3, № 8, с. 1721-1726.
- [2] Атанасов П.А., Зарослов Д.Ю. и др. - Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, в. 15, с. 928-932.
- [3] Горковский В.П., Карлов Н.В. и др. - Квантовая электроника, 1984, т. 11, № 9, с. 1867-1869.
- [4] Карлов Н.В., Кислицев А.В. и др. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 10, с. 617-622.
- [5] Валиев К.А., Беликов Д.В. и др. Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, в. 16, с. 990-994.
- [6] Беляев Г.И., Дашук П.Н. и др. - ЖТФ, 1983, т. 53, № 3, с. 466-468.
- [7] Зарослов Д.Ю., Карлов Н.В. и др. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1979, т. 43, № 2, с. 230-236.
- [8] Андреев С.И., Белоусов И.М. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1975, т. 21, в. 7, с. 424-426.
- [9] Godard B., Vannier M., - Opt. Commun., 1976, v. 16, N 1, p. 37-40.
- [10] Антонов В.С., Князев И.Н., Мовшев В.Г. - Квантовая электроника, 1974, т. 1, № 2, с. 433-435.
- [11] Дашук П.Н., Кулаков С.Л. - Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, в. 21, с. 1307-1311.

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
10 февраля 1988 г.