

## СВЕРХЫЗЛУЧЕНИЕ НА $2^+$ И $1^-$ ПОЛОСАХ АЗОТА В РАЗРЯДЕ ПРИ ДАВЛЕНИИ СВЫШЕ 10 атм

В.Н.Ищенко, В.Н.Лисицын, А.М.Ражев,  
В.Н.Старинский

Сообщается о получении с помощью двойного импульсного поперечного разряда в He – N<sub>2</sub>-смеси при давлении более 10 атм интенсивного сверхызлучения на  $1^-$  полосах азота ( $\lambda = 3914$  и  $\lambda = 4278$  Å). Спектр излучения на  $2^+$  системе ( $\lambda = 3371$  Å) при давлении более 4 атм состоит из одной колебательно-вращательной компоненты.

В этой статье мы сообщаем о получении инверсии и интенсивного сверхызлучения на ионных молекулярных переходах в импульсном газовом разряде высокого давления. Новые линии сверхызлучения видимого диапазона оканчиваются в нижнем электронном состоянии молекулярного иона, и основным механизмом создания инверсии выступает прямой электронный удар с ионизацией и возбуждением молекул. Такой механизм представляется перспективным для освоения коротковолнового диапазона лазерного излучения, а также для получения мощной генерации в плазме высокого давления.

При решении ряда задач научного и прикладного значения возникает проблема возбуждения газов высокого давления, которая обычно решается с использованием электронных лучков. Это относится к таким, например, задачам как перестраиваемые лазеры [1], мощные молекулярные лазеры, в том числе с самосинхронизацией мод [2], возбуждение инверсии на переходах между связанными и репульсивными состояниями молекул [3] и др. В настоящей работе для возбуждения газовой смеси при давлениях вплоть до 11 атм реализована относительно простая конструкция лазера с двойным поперечным разрядом. Как видно из рис. 1, лазерная ячейка с активным объемом  $0,5 \times 3 \times 300$  мм<sup>3</sup> кроме основных

имела вспомогательные электроды, расположенные на внешних сторонах стеклянных стенок. Предварительный высоковольтный ( $\sim 150$  кВ) разряд малой энергии опережает основной на  $0,1 + 1$  мксек и создает начальную однородную в объеме ионизацию промежутка. Это обеспечивает развитие пространственно однородного возбуждающего импульса тока с амплитудой  $10^4$  а и фронтом  $3 + 5$  нсек. Ячейка герметизировалась кварцевыми окнами и наполнялась смесью He - N<sub>2</sub> в соотношении 100:(1+10). Лазер работал в режиме сверхызлучения; наличие одного зеркала увеличивало мощность излучения и уменьшало флуктуации амплитуды импульсов от вспышки к вспышке. Под сверхызлучением мы понимаем режим остронаправленного вынужденного излучения в отсутствие резонатора.

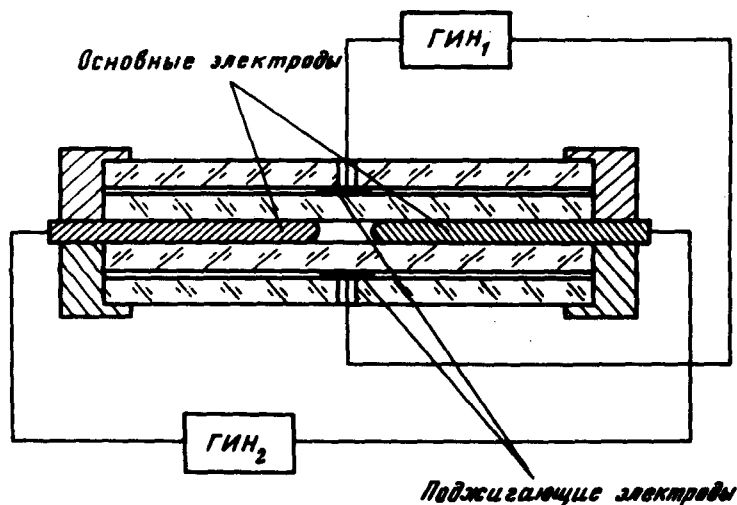


Рис.1. Схема лазерной ячейки с двойным поперечным разрядом:  
 ГИН<sub>1</sub> – генератор импульсного напряжения для предионизации,  
 ГИН<sub>2</sub> – генератор основного импульса возбуждения, рабочее напряжение 10 – 40 кВ

В такой системе получено хорошо известное сверхызлучение на длине волны 3371 А с мощностью 20 кВт в широком диапазоне давлений газовой смеси, рис. 2. Отмечается незначительный спад мощности и сокращение длительности от 2,5 до 1,5 нсек при изменении давления от 1 до 10 атм. Здесь, пожалуй, наибольший интерес представляет спектральный состав излучения. При давлениях порядка атмосферного в сверхызлучении проявляется вращательная структура колебательной полосы (0, 0), состоящая приблизительно из десятка линий. С ростом давления происходит быстрое уменьшение числа генерирующих линий, и, начиная с 4 атм, в сверхызлучении остается практически одна линия P<sub>1</sub>10; P<sub>1</sub>11. Поскольку из-за малого времени существования инверсии ( $\sim 10^{-9}$  сек) возможность управления спектром излучения с помощью селективного резонатора предельно ограничена, увеличение давления газа в рассматриваемом случае представляется наиболее реальным способом увеличения спектральной плотности импульсного сверхызлучения. В наших эксперимен-

тах измеренная с помощью интерферометра Фабри – Перо ширина спектра составляла  $< 1 \text{ см}^{-1}$ . В пределах этой ширины наблюдалась резкая, нестабильная от вспышки к вспышке структура.

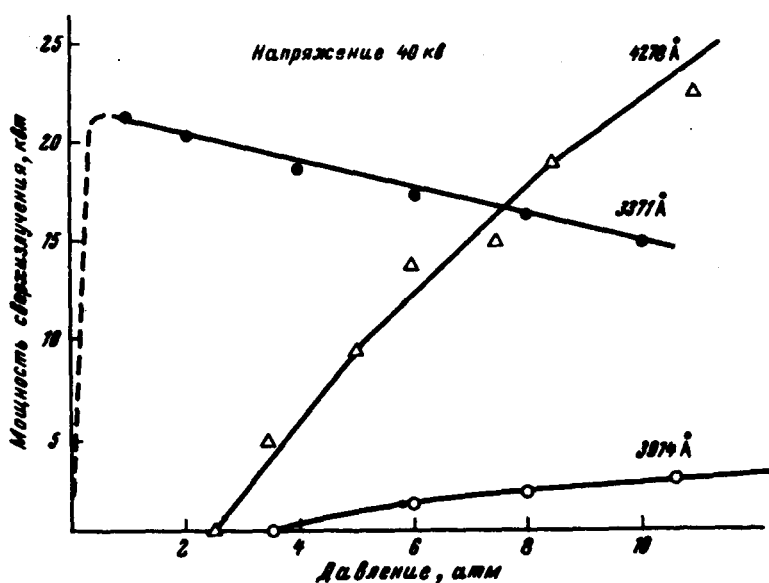
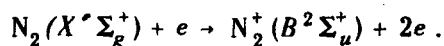


Рис. 2. Зависимость мощности сверхызлучения от давления смеси

Новые линии сверхызлучения видимого диапазона с длинами волн 3914 и 4278 Å были обнаружены при уменьшении парциального давления азота приблизительно на порядок в диапазоне суммарных давлений выше 3 атм на этой же лазерной установке. Точность измерения  $\Delta\lambda \lesssim 0,1 \text{ Å}$  позволяет с уверенностью отнести эти линии соответственно к полосам (0, 0) и (0, 1) первой отрицательной системы полос азота, переход  $B^2\Sigma_u^+ - X^2\Sigma_g^+$  молекулярного иона  $N_2^+$ . Спектральная ширина сверхызлучения на каждой из этих полос составляла  $0,2 - 0,3 \text{ см}^{-1}$ , в пределах которой также наблюдалась нестабильная резкая структура. Отсутствие вращательных компонент объясняется, по-видимому, эффектами давления, как и для линии 3371 Å. Характерно, что для этих лазерных переходов нижним является основное электронное состояние иона. Соотношение амплитуд сверхызлучения на полосах (0, 0) и (0, 1) обратное по сравнению со спонтанным спектром [4]. Следовательно, в наших условиях скорость заселения первого колебательного уровня состояния  $X^2\Sigma_g^+$  значительно меньше, чем для нулевого уровня. Длительность импульса сверхызлучения на обеих линиях составляла 2,5 нсек и почти не зависела от рабочего давления. Существенно, что в пределах точности измерений задержка между импульсом излучения и фронтом тока не обнаружена. Таким образом, есть все предпосылки считать основным механизмом возбуждения инверсии прямой электронный удар, переводящий молекулу из основного нейтрального в возбужденное ионное состояние:



Аналогичный процесс "внезапного возмущения" обсуждался Беннетом [5] при анализе работы ионных лазеров.

Особо отметим почти линейную зависимость мощности излучения  $P_{4278}$  от давления смеси  $P_{He-N_2}$  во всем исследованном диапазоне, рис. 2. Для всех линий сверхизлучения наблюдалась линейная зависимость их интенсивности от напряжения на формирователе импульсов, рис. 3. Эти данные стимулируют постановку исследований по оптимизации полученных генераций. Для детального описания всех особенностей механизма образования инверсии на ионных молекулярных переходах при разряде в сжатых газах необходимы дополнительные измерения, прежде всего, параметров импульсной плазмы. Важно также выяснить влияние давления газа на скорость процессов возбуждения с ионизацией.

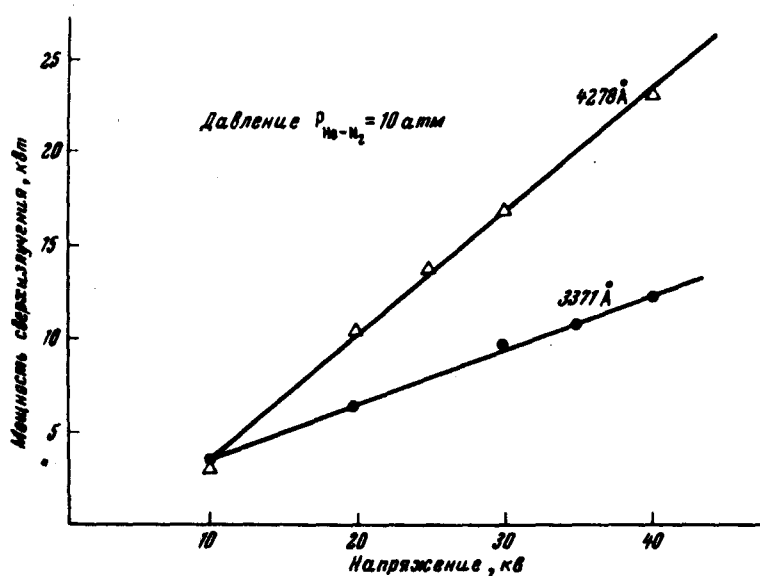


Рис. 3. Зависимость мощности сверхизлучения от рабочего напряжения на ГИИ<sub>2</sub>

Рассмотренный механизм возбуждения инверсии на ионных переходах должен иметь место и для других молекул, обладающих достаточной энергией связи. Описанный способ возбуждения активной среды может быть использован для построения молекулярных лазеров высокого давления типа рассмотренных в работах [3, 6].

Авторы выражают благодарность В.А. Кочеву за помощь в проведении экспериментов.

Институт физики полупроводников  
Академии наук СССР  
Сибирское отделение

Поступила в редакцию  
4 февраля 1974 г.

## Литература

- [1] Н.Г.Басов, Э.М.Беленов, В.А.Данилычев, А.Ф.Сучков. Письма в ЖЭТФ, **14**, 545, 1971.
  - [2] Н.Г.Басов, Э.И.Беленов, В.А.Данилычев, О.М.Керимов, И.Б.Ковш, А.С.Подсосошный, А.Ф.Сучков. ЖЭТФ, **64**, 108, 1973.
  - [3] F.G.Houtermans. *Helv. Phys. Acta.*, **33**, 933, 1960; H.A.Kochler, L.J.Ferderberg, D.L.Redhead, P.J.Ebert. *Appl. Phys. Lett.*, **21**, 198, 1972.
  - [4] R.G.Bennett, F.W.Dably, *J. Chem. Phys.*, **31**, 434, 1959.
  - [5] W.R.Bennett, Jr. *Ann. Phys.*, **18**, 367, 1962.
  - [6] М.М.Мкртчян, В.Т.Платоенко. Письма в ЖЭТФ, **17**, 28, 1973.
-