

СВЕРХСВЕТИМОСТЬ НА ИНФРАКРАСНЫХ ПЕРЕХОДАХ МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА

В. М. Каслин, И. Н. Князев, Г. Г. Петраш

Эффективное преобразование энергии возбуждения в энергию когерентного излучения происходит в условиях, близких к насыщению. Однако для ряда лазеров эти условия не достигаются. Характерным примером является лазер на первой положительной (1^+) системе полос молекулы N_2 (переход $W^3\Pi_g \rightarrow A^3\Sigma_u^+$, $\lambda \approx 1$ мкм) /1,2/. В обычных условиях возбуждения, при комнатной температуре газа, коэффициент усиления в этой системе недостаточно велик. Вследствие этого за время существования инверсии фотонная лавина не успевает развиться, и запасенная на рабочих переходах инверсная заселенность остается в значительной мере нереализованной /3/.

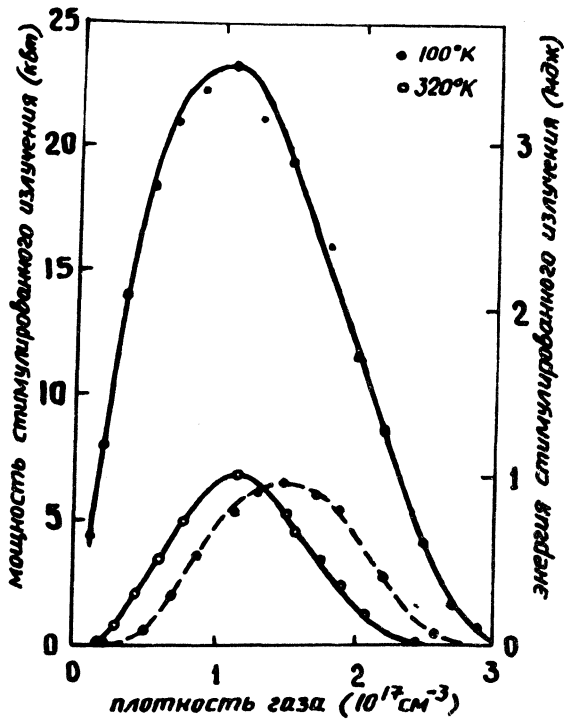
В наших предыдущих работах /4,5/ показано, что в молекулярных лазерах на электронных переходах при охлаждении газа происходит существенный рост коэффициента усиления. Поэтому следовало ожидать, что охлаждение приведет к заметному улучшению характеристик лазера на 1^+ системе полос азота. В настоящей работе сообщается об исследованиях этого лазера при температуре жидкого азота.

Рабочий газ возбуждался импульсным (1 мксек) разрядом конденсатора, заряжаемого до отрицательного потенциала 15 – 55 кв. Разряд осуществлялся в кварцевой трубке внутренним диаметром 28 мм и активной длиной ~ 100 см с частотой повторения им-

пульсов возбуждения 2 гц. Лазерная трубка охлажда-
лась жидким азотом. Суммарная по всем линиям сред-
няя мощность генерации определялась с помощью ка-
либрованного термостолбика. Генерация наблюдалась в
начале импульса тока, и ее длительность на полувы-
соте при всех условиях опыта составляла 100 нсек.
Использовались внешние зеркала радиусом кривизны
2 м с диэлектрическими покрытиями. Расположение
зеркал близко к конфокальному. Спектр лазерного из-
лучения исследовался на спектрографе ДФС-13 с дис-
персией 4 Å/мм.

Охлаждение стенок разрядной трубки до температу-
ры жидкого азота привело, как и ожидалось, к за-
метному улучшению характеристик лазера. Усиление
при этом увеличилось настолько, что стало возмож-
ным наблюдать мощное когерентное излучение без
лазерного резонатора (сверхсветимость). Пиковая мощ-
ность сверхсветимости с одним зеркалом в оптималь-
ных условиях при напряжении на трубке $V = 53$ кв и
давлении газа 1,5 тора составила 7 квт. Усиление при
этом, по грубым оценкам, было не менее 25 дБ/м. На-
сколько нам известно, это - вторая молекулярная си-
стема, на которой был получен режим сверхсветимос-
ти. Ранее сверхсветимость наблюдалась только на ультра-
фиолетовых (0,337 мкм) переходах второй положи-
тельной системы полос того же азота /8/. Характерной
чертой режима сверхсветимости является работа ла-
зера без оптического резонатора, то есть без одного
или без обоих зеркал. Это значит, что излучение сверх-
светимости не имеет модовой структуры, линии излучения
стягиваются к центру своего контура и имеют высокую
стабильность по частоте. Это свойство может быть ис-
пользовано, в частности, для уточнения положения энер-
гетических уровней молекул и молекулярных констант.

Был также исследован режим генерации. Зависи-
мости пиковой мощности генерации от плотности газа
для температур газа $T = 320^{\circ}\text{K}$ и 100°K представлены
на рис. 1 (там же пунктиром показана зависимость



Р и с. 1. Зависимости мощности (и энергии) импульса генерации (сплошные линии) и сверхсветимости (пунктирная линия) от плотности рабочего газа при $\nu = 53 \text{ кв}$.

для сверхсветимости с одним зеркалом). Из рисунка видно, что охлаждение привело к увеличению мощности примерно в 3 раза. Эти результаты получены с зеркалами, оптимальными для 320°K. Ясно, что при охлаждении в связи с ростом усиления оптимальное пропускание выходного зеркала должно быть выше. Действительно, замена выходного зеркала на более пропускающее привела к дополнительному увеличению суммарной мощности генерации для оптимальной плотности газа в ~ 2 раза, или по отношению к первоначальному уровню мощности при 320°K примерно в 5 раз. Параметры импульса возбуждения при фиксированной плотности газа не меняются с температурой. Это значит, что в наших экспериментальных условиях охлаждение рабочего газа привело к росту эффективности лазера также в 5 раз. По грубым оценкам эффективность лазера, определяемая как отношение энергии импульса генерации к энергии, вводимой в разряд за время генерации, составила при максимальной мощности 0,1%. Соответствующая цифра, предсказываемая в /3/ для режима насыщения, 1%. Максимальная мощность генерации получена при напряжении 53 кв, давлении газа 1 тор и $T = 100^\circ\text{K}$ и была около 55 квт. В настоящее время это наибольшая мощность генерации, известная для лазера на 1^+ системе N_2 . Она сравнима с рекордными цифрами для импульсных газовых лазеров с продольным разрядом. При 30 кв мощность генерации примерно вдвое меньше, а эффективность вдвое больше.

Спектральные исследования показали, что генерация и сверхсветимость наблюдаются на колебательных полосах 4-2 ($\lambda \approx 0,751$ мкм), 3-1 ($\sim 0,762$ мкм), 2-0 ($\sim 0,776$ мкм), 2-1 ($\sim 0,872$ мкм), 1-0 ($\sim 0,891$ мкм) и 0-0 ($\sim 1,05$ мкм). Излучение первых трех полос (красные полосы) хорошо видно глазом. Основная же доля мощности сверхсветимости приходится на последние три полосы (инфракрасные полосы). Вращательная структура инфракрасных полос приведена в таблице 1. В спектре наблюдается сравнительно небольшое число линий

Q_1 - и P_{12} -ветвей, принадлежащих оргомодификации N_2 . Сверхсветимость на красных полосах очень слабая и наблюдается лишь в особо благоприятных условиях.

Таблица 1

Вращательная структура инфракрасных полос сверхсветимости на 1^+ системе полос N_2 .

Полоса	$\lambda_{изм}^{**} (\text{Å})$ (для воздуха)	Вращательная* структура
2 - 1	8704,57 8710,30 8715,55 8721,24 8722,22	$Q_1(7)$ $Q_1(5)$ $Q_1(3)$ $P_{12}(5)$ $P_{12}(3)$
1 - 0	8898,92 8904,41 8910,58	$Q_1(5)$ $Q_1(3)$ $P_{12}(5)$
0 - 0	10490,64 10498,72 10507,16 10508,41	$Q_I(5)$ $Q_I(3)$ $P_{12}(5)$ $P_{12}(3)$

* В скобках указано K'' - вращательное квантовое число нижнего состояния; Q - ветвь соответствует переходу $K' - K'' = 0$, P -ветвь - переходу $K' - K'' = -1$.

** Точность $\pm 0,12 \text{ Å}$.

Характерной чертой спектров генерации и сверх-светимости на 1^+ системе полос азота является наличие четко выраженного чередования интенсивностей. Как и в спонтанном спектре /7/, линии оргомодифика-

ции (нечетные значения вращательного квантового числа K) значительно сильнее линий парамодификации (четные K). Однако при некоторых условиях нами наблюдалась обратная картина: линии парамодификации оказывались интенсивнее линий ортомодификации. Такое явление ранее не наблюдалось ни в спонтанном, ни в стимулированном излучениях. Обнаруженный эффект можно объяснить конкуренцией между различными полосами, а также между вращательными ветвями одной и той же полосы. Примечательно, что путем замены зеркал можно добиться как нормального, так и обращенного чередования интенсивностей.

Итак, охлаждение рабочего газа существенно улучшает работу лазера на 1^+ системе полос N_2 . Пиковая мощность и КПД генерации выросли в ~ 5 раз. Получена рекордная мощность генерации ~ 55 квт. Впервые наблюдалась сверхсветимость на этой системе (пиковая мощность 10 квт). Судя по некоторым данным, имеются реальные возможности для дальнейшего повышения мощности генерации и сверхсветимости. Как "побочный" результат обнаружен эффект обращения чередования интенсивностей в спектрах стимулированного излучения N_2 -лазера.

Поступила в редакцию
26 ноября 1970 г.

Л и т е р а т у р а

1. L. E. S. Mathias, J. T. Parker. Appl. Phys. Lett., 3, 16 (1963).
2. И. Н. Князев. Журнал прикладной спектроскопии, 5, 178 (1966).
3. И. Н. Князев. Диссертация. ФИАН, 1968 г.
4. В. М. Каслин, Г. Г. Петраш. ЖЭТФ, 54, 1051 (1968).

5. М. Д. Баранов, В. М. Каслин, Г. Г. Петраш. ЖЭТФ, 57, 375 (1969).
6. В. М. Каслин, Г. Г. Петраш. Письма в ЖЭТФ, 3, 88 (1966).
7. Г. Герцберг. "Спектры и строение двухатомных молекул" М., ИЛ, 1949 г.