

$\text{NH}_3\text{-N}_2$ ЛАЗЕР-УСИЛИТЕЛЬ В ДИАПАЗОНЕ 800-870 cm^{-1}

М. Ахраров, Б. И. Васильев, А. З. Граски, А. Б. Ястребков

УДК 621.373.826.038.823

Получено эффективное усиление импульсов в новом спектральном диапазоне (800-870 cm^{-1}). В режиме, близком к насыщению, отношение энергий выходного и входного сигнала усилителя достигает значений 10-20. Измерены коэффициент линейного усиления γ_0 и интенсивность насыщения I_s активной среды усилителя.

1. Введение. $\text{NH}_3\text{-N}_2$ лазер является эффективным источником мощного ИК излучения, перестраиваемого в диапазоне 745-928 cm^{-1} /1/. С его помощью была осуществлена многофотонная ИК диссоциация ряда молекул /1/. Для многих приложений необходимо иметь мощные импульсы с управляемыми характеристиками (перестройка по частоте, изменение длительности импульсов вплоть до наносекундного диапазона и т.д.). Например, в /2,3/ в режиме генерации NH_3 -лазера получены импульсы длительностью 1-10 нс. Однако энергия в отдельном импульсе была меньше 10 мДж, что существенно затрудняет практическое применение этого лазера. Наиболее перспективной схемой получения мощных импульсов с управляемыми параметрами является схема задающий генератор - усилитель, которая до настоящего времени в диапазоне частот 800-870 cm^{-1} не реализована.

В /4/ сообщается о $\text{NH}_3\text{-He}$ усилителе, работающем на частоте 853,6 cm^{-1} . Однако использованная схема усиления не позволила авторам /4/ получить эффективное усиление на других частотах этого ИК диапазона.

В данной работе описан $\text{NH}_3\text{-N}_2$ лазер-усилитель, работающий в режиме насыщения в спектральном диапазоне 800-870 cm^{-1} .

В качестве задающего генератора использовался светопроводный $\text{NH}_3\text{-N}_2$ лазер с растровой системой оптической накачки /6/, которая позволила поднять плотность энергии излучения накачки задающего генератора до $1\text{-}2 \text{ Дж/см}^2$. Излучение CO_2 лазера, выходящее через нулевой порядок решетки G_1 , заводилось с помощью фокусирующего раstra R из BaF_2 в медной светопровод сечением $0,5 \times 0,5 \text{ см}^2$ и длиной 70 см. Резонатор задающего генератора был образован зеркалом M_3 и плоскопараллельной пластиной из кремния M_4 . Излучение генерации светопроводного лазера с помощью зеркал M_5 и M_6 направлялось в кювету усилителя.

Таким образом использовалась схема усилителя, в которой импульс накачки и усиливаемый импульс распространяются навстречу друг другу.

В качестве активной среды как усилителя, так и задающего генератора использовалась смесь $\text{NH}_3\text{-N}_2$. Кювета усилителя имела длину l м и диаметр входного отверстия 60 мм. Энергия излучения задающего генератора в импульсе длительностью $0,5\text{-}1 \text{ мкс}$ могла регулироваться от 1 до 20 мДж . Регистрация входного и усиленного сигнала осуществлялась с помощью калориметров ВЧД-1. Для того чтобы избавиться от фонового излучения накачки, отраженного от зеркала M_4 , усиливаемый сигнал направлялся под углом к оси накачки усилителя. Спектральные измерения были выполнены с помощью модифицированного монохроматора ИКМ-1 /5/.

3. Параметры активной среды $\text{NH}_3\text{-N}_2$ усилителя. Коэффициент резонансного усиления среды на единицу длины определяется двумя параметрами излучающих частиц: σ - сечением радиационного перехода между двумя рассматриваемыми уровнями и $N = N_2 - N_1$ - плотностью инверсной населенности этих уровней.

Обычно нелинейность усиления возникает за счет изменения разности заселенностей уровней под действием интенсивного излучения. Если длительность импульса τ_u больше времени релаксации населенности T_1 (именно этот случай характерен для $\text{NH}_3\text{-N}_2$ усилителя при $\tau_u \approx 0,5\text{-}1 \text{ мкс}$), то коэффициент усиления с учетом насыщения определяется выражением:

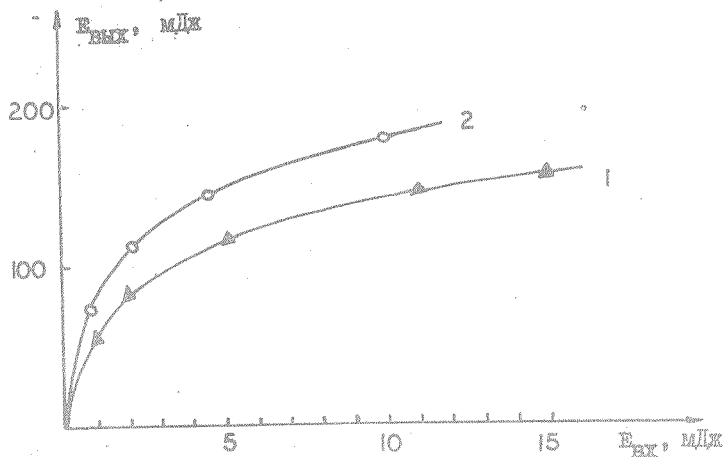
$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 + I/I_s}, \quad (1)$$

где $I_s = h\nu/2\sigma T_1$ - интенсивность насыщения активной среды усилителя.

тели, γ_0 - коэффициент линейного усиления.

Таким образом, основными параметрами усиливающей среды, определяющими коэффициент насыщенного усиления, являются γ_0 и I_B .

Методика определения оптимальных значений этих параметров была основана на следующем. Сначала оптимизировался частичный состав и суммарное давление p_{Σ} смеси NH_3-N_2 в усилителе. Как и следовало ожидать, они оказались близки к оптимальным значениям, характерным для NH_3-N_2 лазера, работающего при той же длине активной среды и том же уровне плотности энергии накачки (смесь $NH_3:N_2 = 1:40, 1:50, p_{\Sigma} = 40-50$ мм рт.ст) /5/.



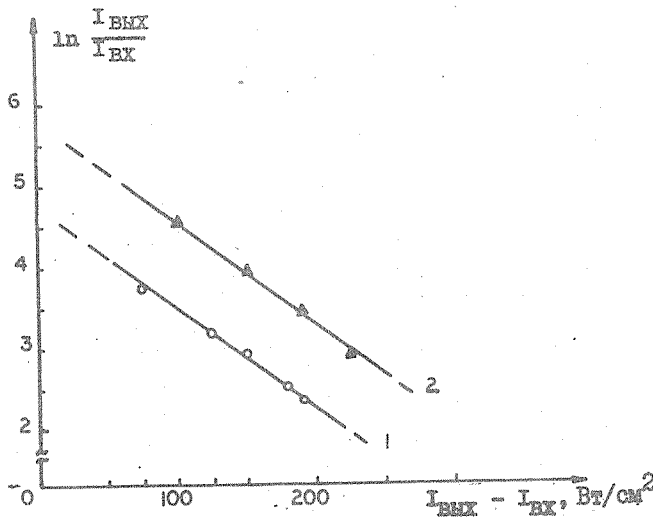
Р и с. 2. Зависимость энергии усиленного сигнала от энергии входного: 1 - широкополосный сигнал; 2 - узкополосный сигнал

Затем измерялась зависимость энергии усиленного сигнала от энергии входного (рис. 2). Измерение было проведено как при широкополосном (дискретный набор генерируемых частот в диапазоне $800-870$ $см^{-1}$, так и при узкополосном (генерация на одной линии из этого набора) входном сигнале. Из рис. 2 видно, что усиление имеет нелинейный характер как для широкополосного (кривая 1), так и для узкополосного (кривая 2) входного сигнала. В этом случае

$$\ln(I_{вх}/I_{вх}) + (I_{вх} - I_{вх})/I_B = \gamma_0 L, \quad (2)$$

где $I_{\text{вх}}$, $I_{\text{вк}}$ — интенсивности входного и усиленного сигнала. Тогда из выражения (2) можно определить как коэффициент линейного усиления γ_0 , так и интенсивность насыщения I_s , а следовательно, и коэффициент насыщенного усиления γ . Зависимость (2) приведена на рис. 3.

При работе задающего генератора на смеси $\text{NH}_3:\text{N}_2 = 1:100$ ($p_{\Sigma} = 100$ мм рт.ст) усиливаемый сигнал состоял из 7^и линий: $aR(6,0)$, $aR(6,1)$, $sP(7,k)$, $aP(5,3)$, $aP(5,2)$, $aP(4,0)$ и $sP(5,k)$ с частотами 816,8; 816,2; 828; 832; 834; 853,6 и 868 см^{-1} соответственно. При этом коэффициент усиления γ_0 составил $\sim 5 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$. (кривая 1 на рис. 3). При генерации на одной линии ($\nu_{\Gamma} = 828 \text{ см}^{-1}$, смесь $\text{NH}_3:\text{N}_2 = 1:20$, $p_{\Sigma} = 20$ мм рт.ст) коэффициент ненасыщенного усиления оказался несколько выше ($\gamma_0 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$, кривая 2 на рис. 3). Интенсивность насыщения I_s в обоих случаях находится в пределах 70–90 кВт/см^2 . Следует отметить, что в /4/ было проведено измерение коэффициента усиления γ_0 в смеси $\text{NH}_3:\text{He} = 1,5:350$ ($p_{\Sigma} = 350$ мм рт. ст) на частоте 853,6 см^{-1} .



Р и с. 3. Зависимость $\ln(I_{\text{вх}}/I_{\text{вк}})$ от $I_{\text{вх}} - I_{\text{вк}}$: 1 — широкополосный сигнал; 2 — узкополосный сигнал

Однако из-за возникновения паразитной люминесценции не было эффективного усиления на частоте 828 см^{-1} . То, что нам удалось получить эффективное усиление на частоте 828 см^{-1} , связано со следующими обстоятельствами. Во-первых, в наших опытах длина активной среды усилителя была почти в 2 раза меньше, чем в /4/. Во-вторых, механизм возникновения инверсной населенности на частоте $853,6 \text{ см}^{-1}$ связан с релаксационными процессами в активной среде, которые зависят от ее парциального состава. В нашем случае парциальное давление буферного газа было существенно меньше, чем в /4/. При этих условиях паразитная люминесценция на частоте $853,6 \text{ см}^{-1}$ не возникает, что и позволяет провести эффективное усиление на частоте 828 см^{-1} .

При работе усилителя в режиме, близком к насыщению (входной сигнал 10–15 мДж), на выходе были получены импульсы с энергией до 200 мДж (рис. 2, кривая 2), что формально соответствует КПД $\eta \sim 4\%$. Однако с учетом фактора геометрического заполнения S , равного отношению площадей поперечного сечения пучка входного сигнала и накачки, фактический КПД будет значительно выше. Дело в том, что в нашем случае $S = 0,2$. Следовательно, использование усилителя с $S = 1$ должно повысить эффективность его работы приблизительно в 5 раз. Таким образом, на выходе такого усилителя можно получать импульсы с энергией $\sim 1 \text{ Дж}$.

4. Заключение. В новом спектральном диапазоне ($800\text{--}870 \text{ см}^{-1}$) получено эффективное усиление импульсов длительностью 0,5–1 мкс. Использование в качестве задающего генератора $\text{NH}_3\text{-N}_2$ лазера с пассивной синхронизацией продольных мод /3/ позволит при соответствующих условиях выделить и усилить один наносекундный импульс из пуга. При этом параметры усилителя позволяют надеяться на получение энергии $\sim 0,1\text{--}0,2 \text{ Дж}$ с длительностью импульса порядка наносекунды, что существенно расширит область практического применения $\text{NH}_3\text{-N}_2$ лазера.

Поступила в редакцию
26 мая 1982 г.

Л и т е р а т у р а

1. Б. И. Васильев и др., Труды ФИАН, 136, 3 (1982).
2. В. Дека et al., Opt. Commun., 37, 127 (1981).
3. М. Ахраров и др., Квантовая электроника, 9, № 3, 655 (1982).

4. H. Tashiro et al., Japanese J. of Appl. Phys., 20, 1765 (1981).
5. M. Ахраров и др., Квантовая электроника, 8, № 6, 1229 (1982).
6. Б. И. Васильев и др., Квантовая электроника, 6, № 3, 116 (1980).

Краткие сообщения по физике № 2 1983