

ЭЛЕКТРОИОНИЗАЦИОННЫЙ ЛАЗЕР НА МЕТАСТАБИЛЯХ АТОМА Хе

В.В.Баранов, Н.Г.Басов, В.А.Данилычев, А.Ю.Дудин
Д.А. Зяярный, Н.Н.Устиновский, И.В.Холин, А.Ю.Чугунов

Предлагается новый подход к созданию мощных газовых лазеров на атомных переходах, заключающийся в накачке лазерных уровней несамостоятельным электроионизационным разрядом из высоколежащих метастабильных состояний, возбужденных в активной среде с помощью внешнего источника. В лазере на смеси $Ag : Хе$ с объемом активной области 10 л получен энергосъем более 50 Дж на длине волны 1,73 мкм.

Газовые лазеры на атомных переходах ¹, возбуждаемые самостоятельным электрическим разрядом, характеризуются весьма невысоким энергосъемом и квантовым КПД. Широко распространенный гелий-неоновый лазер может служить характерным примером такого рода лазерных систем. В данной работе предлагается новый подход к созданию эффективных газовых лазеров высокого давления на электронных переходах, заключающийся в использовании в качестве основного лазерного уровня высоколежащих метастабильных состояний, необходимая концентрация которых в активной среде поддерживается с помощью внешнего источника возбуждения. Экспериментально эта идея (см. рис. 1) реализована нами при квазистационарной накачке несамостоятельным электроионизационным разрядом хорошо известных лазерных переходов $5d - 6p$ атома Хе ^{2 - 4} из метастабильных (M) состояний Хе ^{*}($6s$), наработанных в активной среде под действием пучка быстрых электронов. Возбуждение из высоколежащих состояний позволяет обеспечить высокий квантовый КПД системы и слабую чувствительность разряда к различным видам неустойчивости.

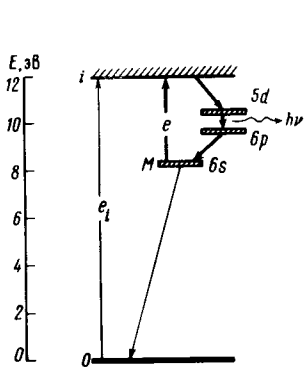


Рис. 1

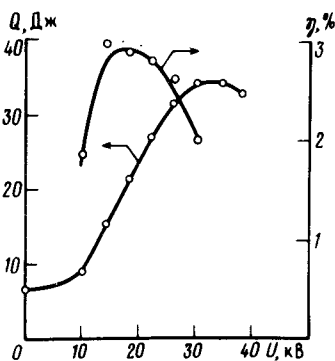


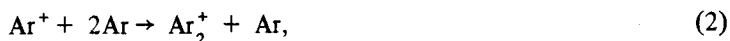
Рис. 2

Рис. 1. Схема возбуждения электроионизационного лазера на метастаблях Хе.

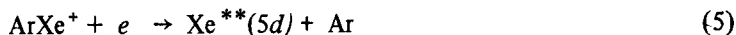
Рис. 2. Зависимость энергии генерации Q и КПД электроионизационной накачки η от зарядного напряжения на конденсаторной батарее (η определяется как отношение энергосъема за счет разряда к энергии, запасенной в батарее); давление активной среды 2,5 атм

Эксперименты проводились на электроионизационной лазерной установке с объемом активной области 10 л и апертурой $10 \times 10 \text{ см}^2$. Пучок электронов с энергией $\sim 300 \text{ кэВ}$ сечением $10 \times 100 \text{ см}^2$ вводился в кювету через титановую фольгу толщиной 20 мкм перпендикулярно оптической оси лазера. При длительности импульса $\sim 3,5 \text{ мкс}$ по основанию плотность электронного тока за фольгой составляла $1,8 \text{ А/см}^2$. Анод разрядного промежутка имел размеры $10 \times 100 \text{ см}^2$ и располагался на расстоянии 10 см от фольги. Электроионизационная накачка активного объема осуществлялась разрядом конденсаторной батареи. Разряд носил периодический характер. Длительность первого периода разрядного тока примерно соответствовала длительности импульса пучка электронов. Резонатор лазера был образован плоским золотым зеркалом и стопой из двух кварцевых пластин. Активная среда представляла собой смесь газов Ag и $Хе$ давлением до 3,5 атм с соотношением компонент $Ag : Хе = 100 : 1$. Генерация наблюдалась на пяти переходах $5d - 6p$ атома Хе, причем более 90 % энергии было сосредоточено в линии с $\lambda = 1,73 \text{ мкм}$.

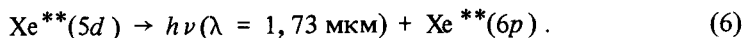
Возбуждение метастабилей электронным пучком происходит в реакциях ионизации и последующей рекомбинации атомов активной среды (см. рис. 1). Ионизация ксенона осуществляется с участием атомов буферного газа в реакциях типа:



(здесь e_i и e — электроны пучка и вторичные электроны соответственно). Рекомбинация Xe^+ с электронами в реакциях



приводит к заселению верхнего лазерного уровня перехода $5d - 6p$ и возникновению генерации ⁵:

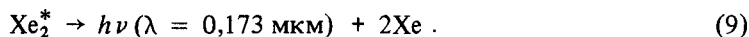
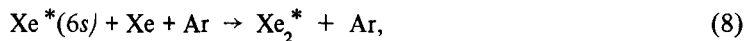


В результате релаксации нижнего лазерного уровня $\text{Xe}^{**}(6p)$ в активной среде образуются атомы ксенона в метастабильных состояниях $\text{Xe}^*(6s)$, время жизни которых при давлении 2 — 3 атм составляет несколько сотен наносекунд.

Таким образом наработка в активной среде метастабилей ксенона сопровождается генерацией на обсуждаемых лазерных переходах, однако, из-за низкой квантовой эффективности физический КПД лазера при накачке только электронным пучком не превышает 1 — 1,5%. Наложение электрического поля приводит к увеличению энергии генерации в 5 — 6 раз (рис. 2). В этом случае накачка лазерных переходов осуществляется за счет ионизации метастабилей ксенона электронами проводимости в реакции



и рекомбинации иона Xe^+ в реакциях (4), (5). После испускания кванта генерации и релаксации атом ксенона оказывается в исходном метастабильном состоянии, и процесс повторяется. Таким образом, накачка электроионизационным разрядом является квазистационарным циклическим процессом (толстые стрелки на рис. 1), причем роль электронного пучка сводится, главным образом, к компенсации убыли метастабилей за счет рекомбинации в основное состояние в реакциях типа:



Отметим, что уменьшение мощности источника внешней ионизации сопровождается относительным увеличением роли накачки разрядом. Так, при плотности электронного пучка $\sim 0,02 \text{ А/см}^2$ энергоъем в случае электроионизационного возбуждения почти в 100 раз превышает энергоъем при накачке только электронным пучком.

Накачка из метастабильных состояний обеспечивает высокий КПД генерации. При квантовой эффективности в цепочке реакций (7) — (4) — (5) около 20% и физическом КПД на уровне 5% ⁶ КПД электроионизационной накачки "от запасенной энергии" достигает в данных экспериментах 3% (рис. 2). Максимальный энергоъем был получен при давлении активной среды 3,5 атм и составил более 50 Дж.

Хорошая пространственная однородность электроионизационной накачки позволяет получить излучение высокого оптического качества без применения сложных схем пространственного формирования излучения. В наших экспериментах при использовании неустойчи-

вых телескопических резонаторов ширина углового распределения излучения в дальней зоне на полувысоте интенсивности составляла $4 \cdot 10^{-5}$ рад.

В заключение следует сказать, что эффективное заселение метастабильных состояний для формирования лазерных сред с заданными электрическими параметрами может быть осуществлено и другими способами: прямым фотовозбуждением, ионизацией мощным потоком рентгеновских квантов, возбуждением продуктами ядерных реакций и т. д. Отметим также, что успешная реализация лазера на метастабильях Хе иллюстрирует перспективность предлагаемого метода и стимулирует поиск других лазерных систем с подходящей структурой электронных переходов.

Литература

1. Беннет В. Газовые лазеры. М.: Мир, 1964.
2. Patel C.K.N., Bennett W.R., Faust W.L., Mc Farlane R.A. Phys. Rev. Lett., 1962, 9, 102.
3. Schwarz S.E., De Temple T.A., Targ R. Appl. Phys., Lett., 1970, 17, 305.
4. Lawton S.A., Richards J.B., Newman L.A., Specht L., De Temple T.A. J Appl. Phys., 1979, 50, 3888.
5. Басов Н.Г., Данилычев В.А., Устиновский Н.Н., Холин И.В., Чугунов А.Ю. Письма в ЖТФ, 1982, 8, 590.
6. Basov N.G., Chugunov A. Yu., Danilychev V.A., Kholin I.V., Ustinovsky N.N. IEEE. J.Quant. El., 1983, QE-19, 126.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20 марта 1984 г.