

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОИОНИЗАЦИОННОЙ ВОДОРОДНОЙ ЛАМПЫ В ВУФ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Н.Г. Б а с о в, В.А. Д а н и л ы ч е в,
 В.А. Д о л г и х, В.В. К а п у с т и н,
 О.М. К е р и м о в, А.Л. М а л и н о в с к и й,
 Ю.Ф. М ы з н и к о в, И.Г. Р у д о й,
 А.М. С о р о к а

Мощные эффективные источники некогерентного ВУФ излучения представляют большой интерес для фотолитической накачки лазеров [1] и фотохимических приложений [2]. Наиболее мощными и селективными в настоящее время являются лампы на димерах инертных газов, возбуждаемые интенсивным электронным пучком [3]. Эффективность преобразования вложенной в газ энергии в излучение может достигать 50% при ширине линии излучения ~ 10 нм [1]. Важным достоинством эксимерных ламп является возможность накачки больших объемов благодаря отсутствию пленения собственного излучения.

Тот же результат может быть достигнут с использованием устойчивых молекул, если, например, в соответствии с принципом Франка-Кондона переход при излучении происходит на верхние колебательные уровни основного состояния. Такая ситуация реализуется в полосах Лаймана и Вернера молекулярного водорода [4]. Как известно, резонансные состояния $B^1\Sigma_u^+$ и $C^1\Pi_u$ водорода весьма эффективно возбуждаются электронами [5], поэтому представляется перспективным использовать электрический разряд для возбуждения ВУФ ламп на молекулах H_2 . Возможность осуществления разрядной накачки облегчается двумя обстоятельствами: а) сечения возбуждения колебаний в условиях эффективного заселения электронных уровней малы [6]; б) относительно малое время жизни не только синглетных (меньше наносекунды), но и триплетных состояний $c^3\Pi_u$ и $a^3\Sigma_g^+$ [7] (из-за быстрого перемешивания электронами эффективное время жизни составляет ~ 23 нс) затрудняет развитие ступенчато-ионизационной неустойчивости при больших уровнях мощностей энергозклада. Водородные лампы с электроразрядным возбуждением: импульсные [8], непрерывные капиллярные тлеющего разряда [9], а также дуговые [10] являются типичными и наиболее распространенными источниками излучения для ВУФ спектроскопии. Однако в диапазоне длин волн 110–170 нм их мощность не превышает нескольких ватт, а коэффициент полезного действия составляет $\sim 10^{-1} \div 10^{-3}$ % [8–10].

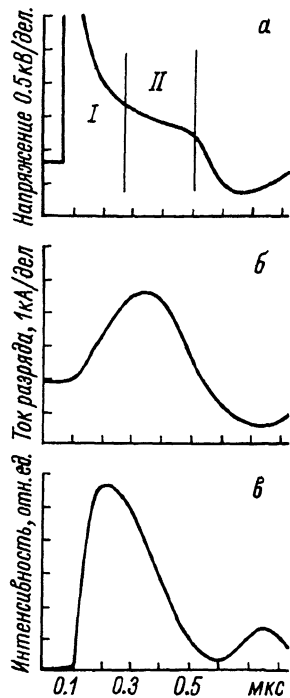
Настоящая работа посвящена исследованию люминесценции водорода в полосах Лаймана $B^1\Sigma_u^+ \rightarrow X^1\Sigma_g^+$ (140–165 нм) и Вернера $C^1\Pi_u \rightarrow X^1\Sigma_g^+$ (116–130 нм) в сильноточном объемном разряде, не ограниченном стенками, инициированном электронным пучком, в смесях водорода с гелием и в чистом водороде.

Рис. 1. Характерные осциллограммы разряда. Зарядное напряжение 5 кВ, смесь $H_2:He=1:40$, давление 150 тор, $C=6 \cdot 10^{-8}$ Ф. а) Напряжение на разрядном промежутке, исправленное с учетом индуктивности разрядной камеры $U=U'-LdI/dt$, где U' - измеренное напряжение; б) ток разряда; в) импульс излучения в ВУФ области спектра.

Эксперименты проводились на установке со следующими параметрами: длительность импульса тока электронного пучка ~ 50 нс, энергия электронов ~ 150 кэВ, возбуждаемый объем ~ 20 см³, расстояние между катодом и анодом разрядной камеры $\sim 1,3$ см, длина анода 12 см, индуктивность разрядного контура ~ 100 нГ. Плотность тока электронного пучка варьировалась от 100 мА/см² до 1,5 А/см². Статическое напряжение пробоя в чистом водороде составляло 1,3 кВ при давлении 15 тор, в смеси $H_2:He=1:40$ $\sim 2,0$ кВ при давлении 100 тор.

На рис. 1 приведены характерные осциллограммы напряжения на разрядном промежутке (а) (с учетом индуктивности цепи питания), тока разряда (б) и импульса излучения в ВУФ области спектра (в). На первом этапе (область I) происходит ударное объемное размножение электронов и падение напряжения на разряде. Затем (область II) разряд переходит в стационарную самоподдерживающуюся фазу. При этом величина напряжения на разряде остается практически постоянной на протяжении 200 нс и не зависит от приложенного напряжения, в то время как разрядный ток меняется приблизительно в 3 раза. Величина приведенной напряженности электрического поля $(E/\rho)^*$ на этой стадии не зависит от давления и определяется только составом смеси. В чистом водороде $(E/\rho)^* \approx 17$ В/см тор, а в смеси $H_2:He=1:40$ $(E/\rho)^* \approx 2,5$ В/см тор.

Стационарное значение $(E/\rho)^*$ определяется естественным условием равенства скорости рождения и гибели электронов в разряде. Рождение электронов в нашем случае связано с ионизацией возбужденных триплетных состояний H_2 $s^2\pi_u$ и $a^2\Sigma_g^+$, а гибель с диссоциативной рекомбинацией молекулярного иона H_3^+ [11]. В условиях эксперимента оба этих процесса пропорциональны квадрату плотности электронов, и поэтому величина $(E/\rho)^*$ не зависит от разрядного тока (см. рис. 1, а). Величина стационарной плотности электронов n_e при этом определяется параметрами внешней цепи:



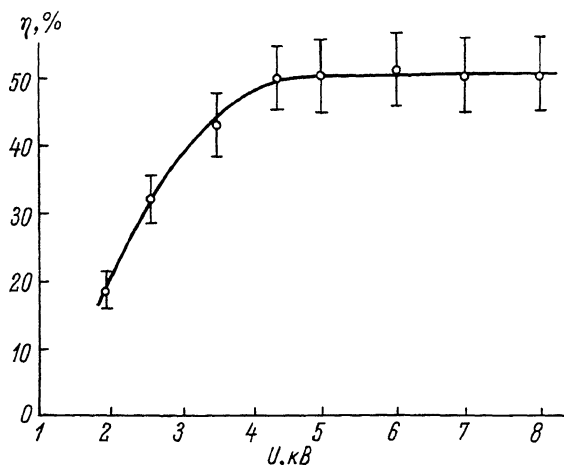


Рис. 2. Зависимость эффективности излучения молекулярного водорода в ВУФ области по вложенной энергии от начального напряжения на зарядной батарее. Смесь $H_2:He=1:40$, давление 150 тор, $C=6 \cdot 10^{-8}$ ф.

$$n_e = [U_c(t) - (E/\rho) * l\rho] / e\mu(E/\rho) \rho S R_S,$$

где $U_c(t)$ - напряжение в момент времени t на батарее конденсаторов емкости C цепи питания; l - длина разрядного промежутка; S - площадь электродов; ρ - давление газа; e, μ - заряд электрона и его подвижность; R_S - стабилизирующее сопротивление. Для типичных условий эксперимента в смеси $H_2:He=1:40$ при давлении 150 тор, $R_S = \sqrt{l/C}$, $C=6 \cdot 10^{-8}$ ф, $U_c=4$ кВ концентрация электронов составляет $\sim 5 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$. Отметим, что изменение плотности тока электронного пучка от 100 мА/см 2 до 1.5 А/см 2 практически не влияло на разрядные характеристики при тех зарядных напряжениях, когда становилось существенным размножение электронов.

Поскольку при зарядных напряжениях, превышающих ~ 3 кВ, когда появлялось мощное ВУФ излучение, наблюдались также и стримеры, принципиальным является вопрос об объемности ВУФ свечения водорода. Абскурограммы разряда показали отсутствие избыточного излучения из приэлектродных областей. Диафрагмирование области свечения разрядного промежутка продемонстрировало независимость интенсивности ВУФ излучения от наличия стримера в данной области, а увеличение размеров диафрагмы приводило к пропорциональному увеличению амплитуды сигнала. Эти эксперименты позволили сделать вывод об объемном характере разряда и ВУФ излучения. Основной причиной дугообразования в завершающей фазе раз-

ряда, на наш взгляд, является ступенчатая ионизация атомов водорода, нарабатывающихся в разряде.

Энергия излучения в полосах Лаймана и Вернера определялась из сравнения с энергией излучения молекулярного ксенона, возбуждаемого пучком электронов известной энергии (эффективность преобразования вложенной энергии пучка в излучение Xe_2^* принималась $\sim 40\%$). На рис. 2 приведена зависимость физического КПД ВУФ люминесценции водорода от зарядного напряжения в смеси $\text{H}_2:\text{He} = 1:40$ при давлении 150 тор и $C = 6 \cdot 10^{-8}$ ф. Величина вложенной энергии вычислялась интегрированием осциллограмм напряжения на разряде и разрядного тока в течение времени существования излучения. Заметим, что во втором полупериоде разрядного тока интенсивность ВУФ излучения всегда была \sim на порядок меньше, чем в первом. Величина физического КПД достигает $\sim 50\%$. Квантовая эффективность полос Вернера и Лаймана составляет $70 \pm 80\%$. Следовательно, при указанных ранее величинах $(E/\rho)^*$ возбуждение резонансных состояний $B^1\Sigma_u^+$, $C^1\Pi_u$ происходит весьма эффективно, что связано с увеличением температуры электронов за счет максвеллизации функции их распределения при высокой относительной концентрации электронов в разряде [12].

Таким образом, в настоящей работе показано, что молекулярный водород при возбуждении самоподдерживающимся сильноточным разрядом является высокоэффективным источником ВУФ излучения. Получена энергия излучения ~ 10 мДж/см³ в импульсе длительностью до ~ 400 нс, а максимальная эффективность по вложенной энергии достигала 50%. Это позволяет создать эффективную водородную лампу, работающую в импульсно-периодическом режиме с мощностью излучения, достигающей киловатта в ВУФ области спектра.

Л и т е р а т у р а

- [1] Экимерные лазеры. Ред. Ч. Роудз, М.: Мир, 1981.
- [2] О к а б е Х. Фотохимия малых молекул. М.: Мир, 1981.
- [3] E s k e r t r o m D.J., W a l k e r H.C., Jr. Multijoule Performance of the Photolytically Pumped $\text{XeF}(\text{C-A})$ Laser. - IEEE J. Quant. Electron., 1982, QE-18, p. 176.
- [4] Е л е ц к и й А.В., С м и р н о в Б.М. Физические процессы в газовых лазерах. М.: Энергоатомиздат, 1985.
- [5] Б а ж у л и н П.А., К н я з е в И.Н., П е т р а ш Г.Г. Импульсная генерация лазера на молекулярном водороде. - ЖЭТФ, 1964, т. 47, с. 1590.
- [6] Г а л ь ц е в В.Е., Д е м ь я н о в А.В., К о ч е т о в И.В., П е в г о в В.Г., Ш а р к о в В.Ф. Расчет характеристик электрического разряда в смесях газов, содержащих HCl и H_2 . - Препринт ИАЭ-3156, М., 1979.

- [7] Радциг А.А., Смирнов Б.М. Справочник по атомной и молекулярной физике. М.: Атомиздат, 1980.
- [8] Verlman I.B., Steingraber O.J., Benson M.J. Hydrogen Flash Lamps. - Rev. Sci. Instr. 1968, v. 39, p. 54.
- [9] Nealy J.E. Absolute calibration of a hydrogen discharge lamp in the vacuum ultraviolet. - NASA TM X-3327 W., D.C., 1975.
- [10] Левиков С.И. Лампы ультрафиолетового излучения, применяемые в спектроскопии. - ЖПС, 1965, т. 3, с. 473.
- [11] Смирнов Б.М. Комплексные ионы. М.: Наука, 1983.
- [12] Александров Н.Л., Кончаков А.М., Сон Э.И. Влияние электрон-электронных столкновений на кинетические коэффициенты электронов в плазме инертных газов. - ЖТФ, 1980, т. 50, с. 481.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
20 марта 1986 г.

Письма в ЖТФ, том 12, вып. 10

26 мая 1986 г.

ДИФРАКЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН НА МАГНИТНЫХ РЕШЕТКАХ В РЕЖИМЕ РАМАНА-НАТА

А.В. Вороненко, С.В. Герус

В работе [1] сообщалось о наблюдении в эпитаксиальной пленке железо-иттриевого граната брегговской дифракции поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ) на магнитной решетке (МР), созданной участком пространственно-периодического стационарного магнитного поля. Для такой дифракции характерно многократное сфазированное отражение волн от периодов решетки. В настоящей работе излагаются результаты осуществления типа дифракции ПМСВ на МР, по аналогии с акустооптикой ее можно назвать дифракцией Рамана-Ната. Схема опыта и картина дифракции в пространстве волновых векторов изображены на рис. 1. Плоскость эпитаксиальной пленки ЖИГ совпадает с плоскостью рисунка, внешнее поле подмагничивания \vec{H}_0 параллельно оси Z . ПМСВ с волновым вектором \vec{k}_0 , возбуждаемая на частоте ω СВЧ-антенной A_1 , падала на МР, вектор \vec{k} ($|\vec{k}| = 2\pi/\lambda$, T -период МР) которой почти перпендикулярен вектору \vec{k}_0 .

Для реализации дифракции Рамана-Ната необходимо, чтобы продифрагировавшие на решетке лучи ПМСВ при своем распространении пересекали меньше одного периода МР. Это требование характеризуется выполнением условия