

04; 07

© 1992

ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ  
НЕПРЕРЫВНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА  
В СМЕСЯХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ И ГАЛОГЕНОВ

А.П. Головицкий

УФ излучение широко применяется для контролируемого изменения свойств поверхности вещества, например, для укрепления красителей в офсетной промышленности, при изготовлении интегральных микросхем и т. п. [1] При этом вследствие высокой надежности, простого обращения и невысокой стоимости наряду с лазерами с успехом могут быть применены и некогерентные УФ излучатели [2], особенно там, где требуется обработка больших площадей (от  $\text{см}^2$  до  $\text{м}^2$ ). В качестве таких излучателей используют ртутные лампы, но их производство и утилизация вредны для персонала и крайне негативно воздействуют на окружающую среду. Как один из альтернативных УФ источников мог бы быть предложен тлеющий разряд в смесях инертных газов и галогенов [2, 3]. Импульсный разряд высокого давления в этих смесях давно изучается как активная среда эксимерных лазеров, но непрерывный тлеющий разряд низкого давления (ТРНД) в таких средах оставался практически неисследованным. Только в [3] при исследовании ТРНД (45–200 Тор) в смесях  $\text{Xe} + \text{HCl} +$  + буферный газ отмечено, что переходы молекулы  $\text{XeCl}^*B - X$  (308 нм) и  $D-X$  (235 нм) обеспечивают большую часть суммарной интенсивности УФ излучения ТРНД (45–200 Тор) при КПД 1%.

В данной работе исследовались спектры спонтанного излучения (230–920 нм при разрешении 0.02 нм) плазмы ТРНД в смесях газов  $\text{Xe} + \text{HCl} + \text{Ne}$  и  $\text{Xe} + \text{Cl}_2$  при общем давлении 2–150 Тор.

Экспериментальный прибор представлял собой кварцевую трубку внутреннего диаметра 30 мм и длиной 280 мм, размещенную между одинаковыми электродами стаканообразной формы из нержавеющей стали; катод охлаждался проточной водой. Ток разряда поддерживался равным 30 мА. При помощи поверенной вольфрамовой ленточной лампы была проведена абсолютная калибровка спектроскопического тракта.

В экспериментах со смесью  $\text{Xe} + \text{HCl} + \text{Ne}$  состава 10:4, 5:85 отчетливо наблюдались переходы  $\text{XeCl}^*B-X$  (308 нм),  $D-X$  (235 нм),  $C-A$  ( $\approx 345$  нм) и переход  $\text{Cl}_2D'-A'$  (258 нм) – рис. 1. УФ спектры высокого разрешения были качественно сходны со спектрами из работ [4–6]. Интенсивность УФ излучения возрастала с ростом давления смеси и при 115 Тор достигла  $\sim 0.6$  Вт в диапазоне 270–350 нм. Учет более коротковолнового излучения

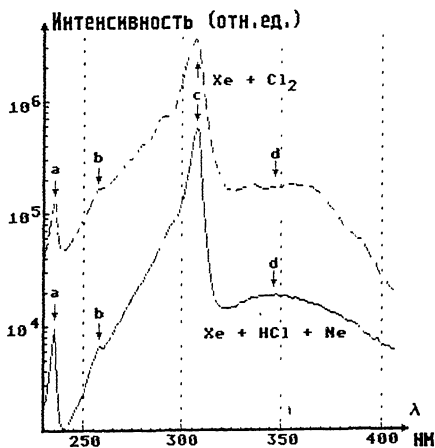


Рис. 1. Обзорный спектр в УФ диапазоне. Пунктир – смесь 85%  $Xe$  + 15%  $Cl_2$ , давление 5.6 Тор, ток 30 мА, напряжение на разряде 3.1 кВ. Сплошная линия – смесь 10%  $Xe$  + 4.5  $HCl$  + 85%  $Ne$ , давление 115 Тор, ток 30 мА, напряжение на разряде 3.2 кВ. Отмечены переходы: а –  $D - XXeCl^*$ ,  $D' - A'Cl_2$ , с –  $B - XXeCl^*$ , d –  $C - AXeCl^*$ .

(в частности, перехода  $D - XXeCl^*$ ) был затруднителен ввиду сложности калибровки с вольфрамовой лампой. Оценки дали значение интегральной мощности во всем УФ диапазоне  $\sim 0.7$  Вт, что соответствует значению КПД  $\sim 0.75\%$  и сопоставимо с результатами [3]. При более высоких давлениях разряд горел нестабильно: как светящийся шнур, который скачками перемещался во внутренней стенке разрядной трубки.

С течением времени (масштаб от  $\sim 2$  ч при 7 Тор до  $\sim 72$  ч при 115 Тор) интенсивности УФ излучения, линий  $Xe$  и  $Cl$  снижались, что указывало на снижение средней энергии электронов плазмы, причиной чему являлось появление в разряде посторонних молекул, многочисленные линии и полосы переходов которых наблюдались в спектре. Из них выделялись линии радикала  $OH$  [7] – рис. 2. Кислород для образования  $OH$  присутствовал в остаточных газах и мог выделяться при распылении кварца, а водород давал, очевидно, галогеноноситель  $HCl$ , что и вызвало его замену на  $Cl_2$ . Но, так как для смесей  $Xe + Cl_2 + Ne$  выход УФ излучения оказался мал, то и  $Ne$  был впоследствии удален.

В дальнейших экспериментах максимальный выход УФ излучения наблюдался у смеси 4.8 Тор  $Xe$  + 0.8 Тор  $Cl_2$  – более чем на порядок выше, чем у  $HCl$  – содержащих газовых смесей (рис. 1) – при абсолютном значении  $\sim 7.7$  Вт в диапазоне 270–350 нм и не менее 9 Вт во всем УФ диапазоне (230–400 нм). При этом получено значение КПД  $\sim 10\%$  – существенно выше, чем до сих пор наблюдалось в ТРНД [3]. В этой смеси ввиду низкого давления смеси

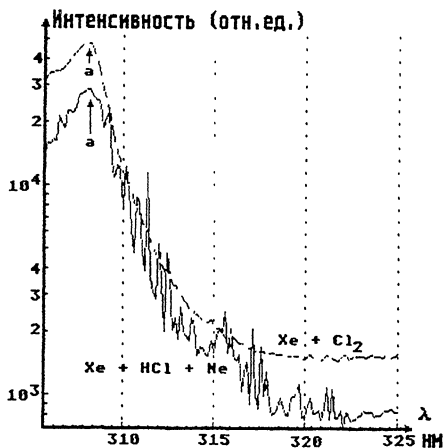


Рис. 2. Сравнение „старых смесей“ смесей в районе  $B-X$  перехода  $XeCl^*$  (обозначен как а). В хлорсодержащей смеси не наблюдается линий радикала  $OH$ .

газов и отсутствия буферного газа за основной механизм образования эксимерных молекул  $XeCl^*$  следует принять гарпунную реакцию по схеме  $Xe^* + Cl_2 (V) \rightarrow XeCl^* + Cl$ .

При большем общем давлении, либо при более высоком содержании хлора выход УФ излучения мал; разряд горел не диффузно, а в виде шнура, прижимающегося к стенке трубки.

С течением времени интенсивность УФ излучения спадала. Характерное время составляло  $\sim 110$  ч для смеси 4.8 Тор  $Xe$  + 0.8 Тор  $Cl_2$  (для  $HCl$ -содержащей смеси при том же давлении характерное время не превышало 2 ч). Этот спад, в отличие от  $HCl$ -содержащих смесей, связан не с образованием посторонних молекул, а с обеднением разряда хлором, так как а) спектры „старых“ смесей не содержали линий ни  $OH$ , ни каких-либо других примесей (рис. 2); б) общее давление „старой“ смеси на 0.4–0.6 Тор меньше, чем давление напуска; в) наблюдалось снижение напряжения на разряде: от 3.1 кВ при свежей смеси до 1.5 кВ при старой смеси, что указывало на уменьшение прилипания электронов.

Возможным решением проблемы ухода хлора может быть покрытие электродов слоем металлов, устойчивых к воздействию хлора, например,  $Au$  или  $Ni$ . Так, прибор с никелированными внутри электродами проработал  $\sim 120$  ч без заметного снижения мощности УФ излучения.

Оценка квантового коэффициента усиления, сделанная в [3] для  $HCl$ -содержащих смесей, показала, что он мал для обеспечения непрерывной лазерной генерации. В данной работе показано, что эффективность выхода УФ излучения (а, следовательно, и заселения уровня  $B$  молекулы  $XeCl^*$ ) в смеси  $Xe + Cl_2$  на порядок выше.

Поэтому взгляд на проблему получения непрерывной генерации  $\text{XeCl}^*$ -лазера с накачкой ТРНД представляется более оптимистическим.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о возможности создания эффективных УФ источников на основе ТРНД в смесях инертных газов и галогенов.

Автор благодарит профессора В. Бёттихера из института физики плазмы Ганноверского университета (Германия) за курирование этой работы.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] B o u d I.W. Laser Processing of Thin Films and Microstructures. Springer Series in Materials Science. V. 3. Heidelberg. Berlin: Springer, 1987. 213 p.
- [2] K o g e l s c h a t z U., E s r o m H. Neue inkohärente Ultraviolett, Excimerstrahler zur photolytischen Materialabscheidung. Laser und Optoelektronik. N 4. 1990.
- [3] T a y l o r R.S., L e o p o l d K.E., T a n K.O. // Appl. Phys. Lett 1991. V. 59. P. 525-527.
- [4] S u r A., H u i A.K., T e l l i n g h u i s e n // J. Mol. Spectr. 1979. V. 74. P. 465-479.
- [5] А д а м о в и ч В.А., Б а р а н о в В.Ю., Д е р ю г и н А.А., К о ч е т о в И.В., М а л ю г а Д.Д., Н а п а р т о в и ч А.П., С м а к о в с к и й Ю.Б., С т р е л ь ц о в А.П. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. С. 80-86.
- [6] S h a l t a k o v I.V., T o m o v I.V. // Bulg. J. Phys. 1988. V. 15. P. 70-73.
- [7] R o s e n B. Spectroscopie électronique moléculaire. In: Handbuch der Physik. B. 27, Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer, 1964. S. 221-474.

С.-Петербургский  
технический университет

Поступило в Редакцию  
9 апреля 1992 г.