

02; 07; 10; 12

© 1993

УФ ГЕНЕРАЦИЯ НА ИОНЕ КАДМИЯ, ВОЗБУЖДАЕМАЯ
МИКРОСЕКУНДНЫМ ПУЧКОМ ЭЛЕКТРОНОВВ.А. Ма кее в, Ю.Н. Но в о с е л о в,
М.Ю. С т а р о в о й т о в, В.В. У в а р и н

Генерация в УФ диапазоне спектра на ионе кадмия с длиной волны 325.0 нм (переход $4d^{9}5s^{2} \ ^{2}D_{3/2} - 4d^{10}5p^{2} \ ^{2}P_{1/2}$) легко осуществляется в $He-Cd$ смеси низкого давления при возбуждении электрическими разрядами [1]. Однако в смесях высокого давления она была получена только при возбуждении электронным пучком наносекундной длительности с плотностью тока пучка более 100 A/cm^2 и удельной мощностью накачки $\sim 1 \text{ кВт/см}^3$ [2, 3]. В то же время генерация на линии 441.6 нм (переход $4d^{9}5s^{2} \ ^{2}D_{5/2} - 4d^{10}5p^{2} \ ^{2}P_{3/2}$), механизмы заселения верхнего уровня которой сходны [3, 4], получена и при невысоком уровне накачки [5, 6]. Выполненные в [7] расчеты дают основание полагать, что в микросекундном диапазоне генерация на линии 325.0 нм возможна при мощности накачки $\sim 100 \text{ Вт/см}^3$, которая может быть обеспечена как электронным пучком, так и продуктами ядерных реакций. Целью экспериментов, результаты которых представлены в данном сообщении, было получение генерации на линии 325.0 нм и определение ее порога.

Эксперименты выполнялись на установке, аналогичной [6] и подробно описанной в [8]. Для возбуждения $He-Cd$ смеси использовался электронный пучок сечением $4 \times 70 \text{ см}^2$ и энергией электронов $\sim 180 \text{ кэВ}$. Типичная осциллограмма импульса тока пучка, выведенного в атмосферу, показана на рис. 1, а. Лазерная кювета, внутри которой размещались кусочки кадмия, заполнялась гелием и могла нагреваться до 450°C . Длина нагреваемой зоны составляла 70 см. С целью очистки гелия от газообразных примесей осуществлялась непрерывная прокачка через цеолитовый фильтр, охлаждаемый жидким азотом, и лазерную кювету со скоростью $\sim 1 \text{ см/с}$. Давление гелия, прокачиваемого через холодную кювету, во всех опытах составляло 1 атм.

Использовался внутренний резонатор, образованный глухим сферическим зеркалом с радиусом сферы 5 м и выходным плоскопараллельным зеркалом с диэлектрическим покрытием. Для линии 325.0 нм применялись зеркала с коэффициентами отражения 99.9 и 99%, для линии 441.6 нм - 99.7 и 97%. Генерируемое излучение снималось с объема $\phi 1.5 \times 70 \text{ см}^3$. Временные характеристики лазерной генерации и ее мощность определялись с помощью калиброванного фотодиода ФЭК-22, сигнал с которого одновременно с импульсом тока пучка регистрировался двухлучевым осцил-

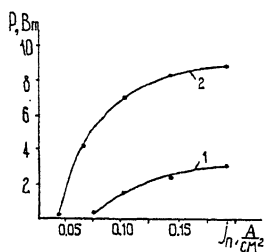
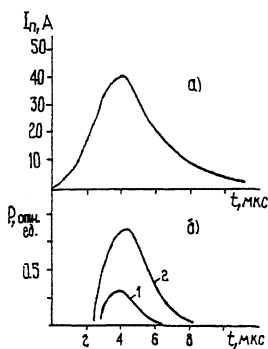


Рис. 1. Типичные осциллограммы импульсов тока, выведенного в атмосферу (а) и мощности генерации (б) на линии 325.0 нм (1) и 441.6 нм (2) при температуре смеси 370°С.

Рис. 2. Зависимость мощности генерации для линий 325.0 нм (1) и 441.6 нм (2) от плотности тока пучка. Температура смеси 370°С.

логграфом С8-14. Длина волны генерации измерялась с помощью спектрографа ДФС-452.

Лазерная генерация на длине волны 325.0 нм наблюдалась при температуре смеси 340–450°С. Максимальной мощности генерации соответствовал диапазон температур 360–380°С. В этом же диапазоне максимальной мощностью обладала и линия 441.6 нм, что несколько расходится с данными [3] для наносекундного пучка.

В работах [2, 3] УФ генерация наблюдалась только в послесвечении со значительной задержкой относительно импульса накачки. В микросекундном диапазоне длительностей тока пучка генерация наблюдается во время накачки. Осциллограммы характерных импульсов генерации на переходах $5s^2 \ 2D_{5/2,3/2} - 5p^2 \ P_{3/2,1/2}$ иона кадмия приведены на рис. 1, б. Генерация на обеих линиях начинается с существенной задержкой ~ 2 мкс относительно начала импульса тока пучка. Причем линия 325.0 нм (1) обладает большей задержкой и меньшей мощностью генерации, чем линия 441.6 нм (2). Максимальная мощность генерации, реализованная в наших опытах, составила для линии 325.0 нм 3 Вт, а для линии 441.6 нм - 9 Вт.

Измерения порога генерации проводились при регулировании тока электронного пучка. Результаты представлены на рис. 2 в виде зависимостей мощности генерации P от плотности тока пучка j_n . Генерация на линии 325.0 нм зафиксирована при минимальной плотности тока пучка ~ 0.07 А/см², тогда как линия 441.6 нм начинала излучать при $j_n \sim 0.026$ А/см². По приблизительным оценкам эти данные соответствуют удельной мощности накачки

$\sim 35 \text{ Вт/см}^3$ для УФ линии и $\sim 13 \text{ Вт/см}^3$ для синей линии. Следует отметить роль неконтролируемых газовых примесей. При близкой к пороговой плотности тока пучка отключение прокачки гелия через цеолитовый фильтр приводило к прекращению генерации на обеих линиях.

Основными механизмами заселения верхних лазерных уровней УФ и синей линий являются пеннинговская ионизация атомов кадмия метастабильными гелия:



а также, в меньшей степени, реакции перезарядки ионов He^+ и He_2^+ на кадмии [3, 4]. Разгрузка нижних уровней обеспечивается радиационными переходами с близкими значениями вероятностей $A \sim 2.8 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$. Различия в интенсивности генерации линий 325.0 и 441.6 нм, таким образом, можно связать с различием скоростей заселения уровней $4d^{95}s^2 \ ^2D_{3/2}$ и $4d^{95}s^2 \ ^2D_{5/2}$ в пеннинговской реакции. Из зависимостей рис. 2 видно, что отношение мощностей генерации на синей и УФ линиях остается примерно постоянным и равным 3–4. Можно предположить, что в таком же отношении находятся и скорости заселения верхних лазерных уровней. Роль столкновительного перемешивания этих уровней при взаимодействии с атомами гелия, которая обсуждалась в работах [2, 3], может быть уточнена в опытах с изменением давления буферного газа.

Таким образом, в работе впервые получена лазерная УФ генерация на ионе кадмия в плотной смеси при мощности накачки $\sim 100 \text{ Вт/см}^3$ и менее. Линия 325.0 нм обладает низким порогом генерации $\sim 35 \text{ Вт/см}^3$, что позволяет использовать для накачки УФ лазера не только микросекундные пучки электронов, но и продукты ядерных реакций.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] И в а н о в П.Г., Л а т у ш Е.Л., С э м М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. М., 1990. 256 с.
- [2] Б у г а е в С.П., Г о р ю н о в Ф.Г., Н а г о р н ы й Д.Ю. и др. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. В. 3. С. 744–747.
- [3] Г о р ю н о в Ф.Г., Д е р ж и е в В.И., Ж и д к о в А.Г. и др. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. В. 10. С. 2039–2046.
- [4] М а к а р о в С.В., Н о в о с е л о в Ю.Н., О с и п о в В.В. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. В. 8. С. 974–978.
- [5] М и с ь к е в и ч А.И., И л ь я ш е н к о В.С., С а л а м а х а Б.С. и др. // ЖТФ. 1982. Т. 52. В. 2. С. 402–404.
- [6] К у з н е ц о в Д.Л., М е с я ц Г.А., Н о в о с е л о в Ю.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 4. С. 35–38.

- [7] Андреев А.Д., Макаров С.В., Новоселов Ю.Н. и др. // ЖТФ. 1992. Т. 62. В. 3. С. 18-23.
- [8] Гарусов К.А., Кузнецов Д.Л., Новоселов Ю.Н., Уварин В.В. // ПТЭ. 1992. В. 3. С. 180-182.

Поступило в Редакцию
22 февраля 1993 г.