

04:07
©1993

ГЕНЕРАЦИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА В СМЕСЯХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ И ГАЛОГЕНОВ

Г.Б.Рулев, В.Б.Саенко

Развитие микроэлектроники сопровождается постоянным поиском новых технологических процессов. Большие потенциальные возможности связаны с использованием коротковолнового УФ излучения, способного инициировать образование химически активных радикалов, осуществлять быстрое отверждение лаков и клеящих веществ, целенаправлено модифицировать поверхность [1].

В настоящее время для промышленных УФ процессов признания добились лишь немногие УФ излучатели. К ним относятся эксимерные лазеры, которые могут решить только часть технологических задач. Цена лазерной установки очень высока и оправдана лишь при выпуске дорогостоящей продукции. В то же время есть много чрезвычайно важных для микроэлектроники фотохимических схем, для которых необходимы недорогие, компактные УФ источники с апертурой светового пучка более 100 см^2 , интенсивно излучающие в спектральном диапазоне 100–300 нм [2]. Наиболее перспективными из них являются источники УФ излучения, использующие излучение эксимерных молекул [3].

При создании эксимерных ламп УФ диапазона применялись различные типы разрядов: барьерный [4], тлеющий [5] и микроволновой [6]. Для эффективного образования эксимеров в плазме электрического разряда необходимо выполнение ряда условий. Во-первых, функция распределения электронов по энергии должна быть такой, чтобы обеспечивалось образование активных ионов и возбужденных атомов. Во-вторых, давление газовой смеси должно быть достаточно большим, чтобы трехтельные реакции образования эксимеров шли быстрее, чем многочисленные реакции гашения активных радикалов [7]. На практике эксимерные комплексы инертный газ/галоген достаточно эффективно образуются при средней энергии электронов порядка 10 эВ и давлении смеси около 1 атм, что достижимо только в условиях неравновесного разряда. Идеально для этой цели подходит импульсный распределенный (секционированный)

искровой разряд. Это неравновесный разряд, реализуемый при больших давлениях. Параметры плазмы могут варьироваться в широких пределах с целью оптимизации процесса образования эксимеров.

Нами создан мощный широкоапертурный импульсный источник УФ излучения, использующий излучение эксимерных молекул. Возбуждение активной среды производилось одновременно с помощью большого числа искровых разрядов. Получено излучение эксимеров Xe_2^* , KrCl^* , KrF^* и XeCl^* с длинами волн соответственно 172, 222, 248 и 308 нм.

Экспериментальный прибор представляет собой цилиндрическую камеру из нержавеющей стали диаметром 10 см, в переднюю стенку которой вмонтировано окно из MgF_2 для вывода излучения диаметром 50 мм. Камера заполняется активной средой. Высота камеры 10 мм. Внутри камеры, в плоскости параллельной окну, расположены искровые промежутки с плотностью упаковки около 10 искр/см² и общим числом около 200. Размер каждого искрового зазора около 0.5 мм. Коммутация большого числа искровых промежутков позволяет сравнительно просто обеспечить согласование активного сопротивления разрядного контура и выходного сопротивления источника питания. Таким образом, достигается максимальный коэффициент передачи энергии в разряд.

Излучение носит импульсный характер. Частота следования импульсов излучения определяется лишь источником питания и может достигать нескольких десятков килогерц. Мы использовали импульсный источник с выходным напряжением до 12 кВ и частотой следования импульсов до 5 кГц. Длительность импульса тока разряда составляла 2 мкс. Примерно через 80 нс после начала импульса разрядного тока наблюдается вспышка эксимерного излучения с длительностью порядка 150 нс. Типичная осциллограмма тока разряда и импульса УФ излучения на длине волны 248 нм для смеси KrF^* приведена на рис. 1.

Мощность и длительность импульса УФ излучения определялись с помощью ФЭУ-142, предварительно прокалиброванного с помощью водородной лампы ЛВС-25 с известным спектром и ленточной вольфрамовой лампы. Для регистрации спектров излучения в области вакуумного ультрафиолета (ВУФ) использовался 0.2-метровый вакуумный монохроматор McPherson Model-234 с решеткой 600 штр/мм.

На рис. 2 приведены спектры излучения эксимерной лампы в ВУФ области спектра, соответствующие $B \rightarrow X$ переходам для эксимерных комплексов Xe_2^* , KrF^* , XeCl^* . Спектры даны в одинаковом масштабе по Y -шкале. Во всех случаях полное давление эксимерной смеси 1 атм. Для образования XeCl^* применялась смесь 90% Xe и 15% HCl, для

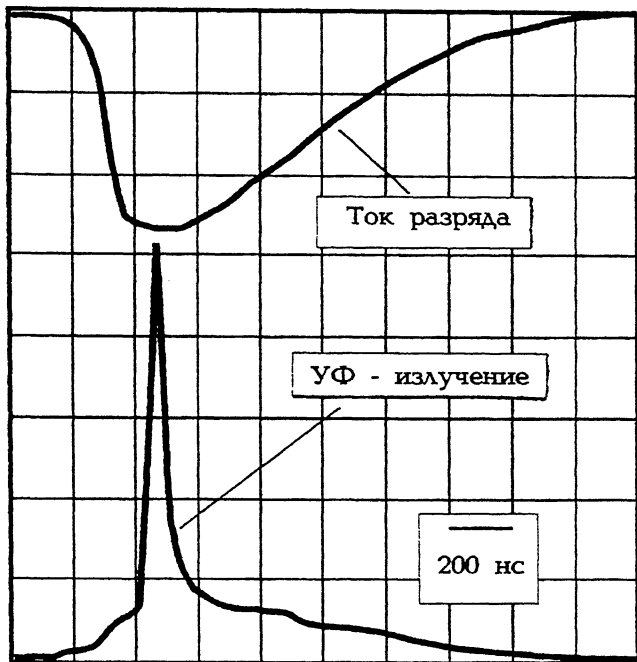


Рис. 1. Осциллограмма тока разряда и импульса УФ излучения на длине волны 248 нм для смеси KrF^* .

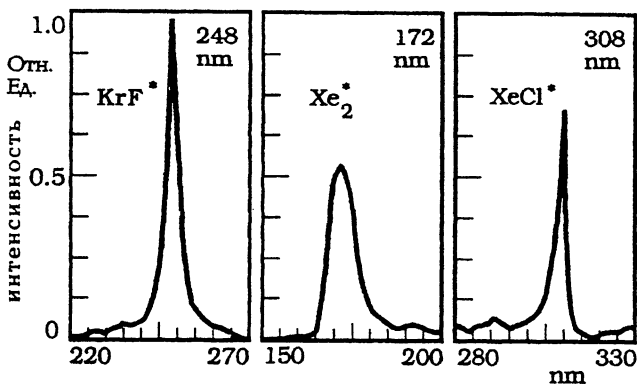


Рис. 2. Спектры излучения эксимерной лампы для сред KrF^* , Xe_2^* , XeCl^* .

KrF^* — 99.9% Kr и 0.1% F_2 . В случае использования Xe_2^* или KrF^* не наблюдалось сколько-нибудь заметного падения мощности излучения эксимерной лампы после 4 часов работы на частоте 1 кГц. Для смеси Xe:HCl в течение это-

го времени выходная мощность лампы падала примерно на 30%.

Максимальный световой поток от лампы получен при использовании KrF смеси. Плотность выведенной через окно средней мощности при работе на частоте 400 Гц составила около 4 мВт/см^2 . В принципе нет ограничения на увеличение частоты разряда до 100 кГц с целью увеличения средней мощности излучения. Диаметр светового пучка на выходе из лампы составлял примерно 5 см, а неоднородности по сечению пучка на расстоянии 10 см были меньше 5%.

Излучение подобных эксимерных ламп предлагается использовать в микроэлектронике, для организации сухих фотостимулированных процессов травления, осаждения; в биологии и медицине.

Список литературы

- [1] *Boyd I.W.* "Laser processing in thin films and microstructures". Springer Series in Material Science. V. 3. Heidelberg; Berlin: Springer, 1987. 213 p.
- [2] *Kogelschatz U., Esprom H.* // *Laser und Optoelectronik*. 1990. V. 22. N 4. P. 55-59.
- [3] Обзор АББ. 1991. № 3. С. 21-28.
- [4] *Kogelschatz U.* // *Appl. Surf. Science*. 1992. V. 54. P. 410-423.
- [5] *Головицкий А.П.* // *Письма в ЖТФ*. 1992. Т. 18. В. 8. С. 73-76.
- [6] *Hiroshi K.* // *Appl. Phys. Lett.* 1991. V. 59. N 22. P. 2811-2813.
- [7] *Эксимерные лазеры.* / Под ред. Ч.Роудза. М.: Мир, 1981. 245 с.

Научно-исследовательский институт
ядерной физики
Московского государственного
университета им.М.В.Ломоносова

Поступило в Редакцию
8 августа 1993 г.

