

УДК 535.33-32

ЭФФЕКТЫ ВЫНОСА НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ И ПЛАЗМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФОТОИСПАРЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЕМ КОРОТКОВОЛНОВОГО ($\lambda = 193$ нм) ArF ЛАЗЕРА

К. С. Гочелашвили, М. Е. Земсков, О. Н. Евдокимова, А. М. Прохоров

Методами лазерной спектроскопии исследованы режим плазмообразования и режим выноса нейтральных частиц при воздействии излучения коротковолнового ArF эксимерного лазера ($\lambda = 193$ нм) на материалы электронной техники.

В настоящее время наблюдается растущий интерес к исследованиям механизмов воздействия излучения коротковолнового диапазона на различные материалы электронной техники [1]. Особый интерес вызывает то обстоятельство, что коротковолновое излучение эксимерных лазеров способно инициировать фотоиспарение материалов, механизм выноса, который лежит в основе новейших сухих технологий в литографии для создания сложных трехмерных структур современных процессоров. Коротковолновое излучение эксимерных лазеров с успехом используется также в технологиях литографии, основанных на осаждении химического пара.

Для понимания сложных процессов сухого травления и осаждения химического пара необходимо иметь информацию *in situ* об элементном составе, плотности, пространственном распределении, распределении по скоростям и внутренним энергиям различных газофазных компонентов. Такую информацию можно оперативно получать при использовании методов лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) [2].

В данной работе сообщается об исследованиях воздействия излучения коротковолнового эксимерного ArF лазера на материалы электронной техники, проведенных на созданном нами ЛИФ спектрометре [3] по времяпролетной методике.

К основным узлам ЛИФ спектрометра относятся:

– камера взаимодействия с вакуумным постом,

- испаряющий эксимерный ArF лазер ($\lambda = 193$ нм),
- источник резонансного излучения (зондирующий лазер на красителе с накачкой от эксимерного $XeCl$ лазера),
- система регистрации и обработки сигнала ЛИФ.

Приведем основные результаты по ЛИФ спектроскопии при воздействии излучения ArF лазера на сапфир – широкозонный диэлектрик, материал, широко используемый в микроэлектронике.

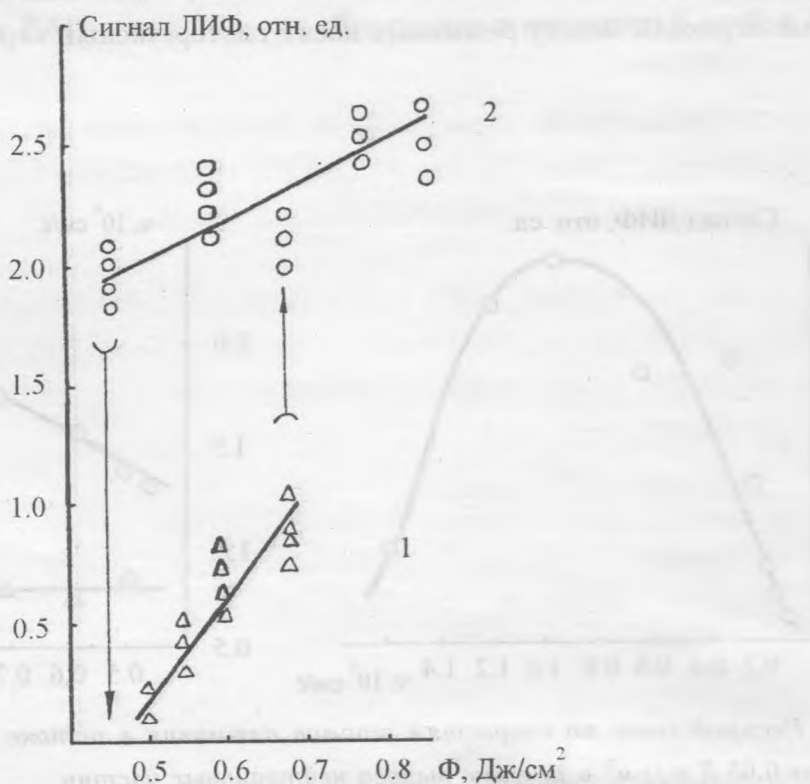


Рис. 1. Зависимость сигнала ЛИФ от плотности энергии излучения в режиме выноса нейтральных частиц (1) и в режиме плазмообразования (2). Стрелки замыкают петлю гистерезиса.

В этих экспериментах излучение лазера на красителе настраивалось на переход атома алюминия из основного состояния $3p^2P_{1/2}$ в возбужденное состояние $3d^2D_{3/2}$ (длина волны 308.216 нм). Сигнал ЛИФ регистрировался на переходе $3d^2D_{3/2} - 3p^2P_{3/2}$ (длина

волны 309.284 нм). Воздействие излучения ArF лазера на поверхность сапфира в области потоков, близких к порогу разрушения (примерно 1 Дж/см^2) имеет два режима – выноса нейтральных частиц и плазменный (рис. 1). Режим выноса нейтральных частиц наблюдается в диапазоне от 0.5 до 0.7 Дж/см^2 и характеризуется вылетом атомов алюминия в основном, невозбужденном состоянии, с распределением по скоростям (рис. 2), не зависящим от величины потока излучения (рис. 3). Плазменный режим возникает из режима выноса нейтральных частиц при величине потока 0.7 Дж/см^2 , существует в диапазоне потоков выше 0.45 Дж/см^2 , связан с наработкой приповерхностного слоя и характеризуется бóльшим выносом (в 5 раз) и бóльшими скоростями (в 2 раза) атомов алюминия по сравнению с теми же величинами в режиме выноса нейтральных частиц. Взаимные переходы между режимами носят гистерезисный характер.

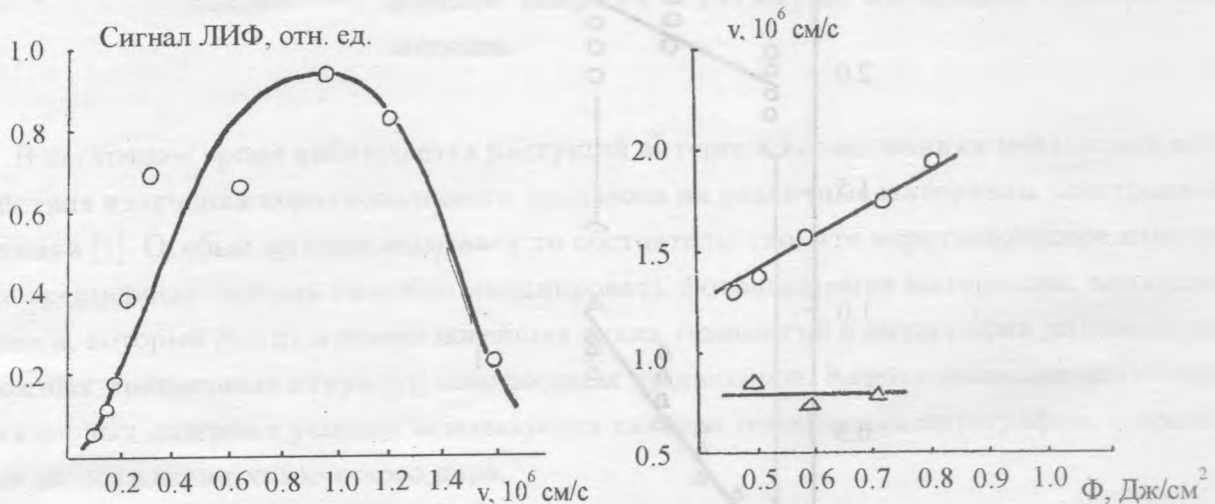


Рис. 2. Распределение по скоростям атомов алюминия в потоке при плотности энергии излучения 0.65 Дж/см^2 в режиме выноса нейтральных частиц.

Рис. 3. Зависимость средней скорости атомов алюминия от плотности энергии на образце: \circ – режим плазмообразования, Δ – режим выноса нейтральных частиц.

Аппроксимация экспериментальных данных распределения по скоростям в режиме выноса нейтральных частиц позволяет вычислить как потоковую скорость ($0.8 \times 10^6 \text{ см/с}$), так и температуру вылетающих атомов алюминия ($T = 1.4 \text{ эВ}$).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kubodera Shoichi, Kawanaka Junji, Sasaki Wataru. In: Conference on Lasers and Electro-Optics, (Optical Society of America, Washington, D. C., 1998), Paper CtuM26.
- [2] Демтредер В. Лазерная спектроскопия, М., Наука, 1985.
- [3] Гочелашвили К. С., Земсков М. Е. и др. Квантовая электроника (в печати).

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 6 ноября 1998 г.