

## ВЫСОКИЕ СКОРОСТИ ФОТОТРАВЛЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ НА ВОЗДУХЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ 115 — 200 нм

Ю.С. Леонов, А.В. Митрофанов, С.М. Федотов

*ВУФ фототравление полимеров с высокими скоростями осуществлено на воздухе при использовании компактных разрядных дейтериевых ламп. Для полиимида достигнута скорость фототравления более 100 нм/мин.*

Задачей данной работы являлось, во-первых, достижение высоких скоростей фототравления полимеров в кислородосодержащих средах (на воздухе) под действием ВУФ излучения. При этом ориентиром являлось превышение на порядок известных скоростей фототравления /1—3/ на площади не менее  $5 \text{ см}^2$ . Во-вторых, требовалось определить условия, в которых процесс фототравления протекает эффективно. Первая часть задачи решена применением интенсивного источника ВУФ излучения (115 — 200 нм) на основе компактной дейтериевой разрядной лампы с окном из фторида магния /4/ и повышением температуры образцов и воздуха над образцами до максимально возможных. Для решения второй части задачи произведены измерения спектров пропускания воздушного зазора и полимерных плеток. В качестве объектов фототравления использованы известные полимерные пленки микронной толщины, нанесенные на подложки из кремния: 1) полиметилметакрилат (ПММА), 2) полиэтилентерефталат (лавсан), 3) полиимид.

При проведении измерений спектров и скоростей фототравления в области температур выше  $300\text{—}400^\circ\text{C}$  необходимо учитывать температурный сдвиг края поглощения окна лампы из фторида магния. В области длин волн 115—130 нм нагрев фторида магния приводит к уменьшению пропускания окна. Кроме того, возрастает вероятность разрушения лампы при подогреве до температур выше  $400^\circ\text{C}$ . Поэтому была изготовлена проточная кювета, соединяемая с корпусом лампы и содержащая окно из фторида лития. Последнее располагалось непосредственно под окном лампы. Между окнами осуществлялась продувка азота. Это способствовало охлаждению окон лампы и кюветы. Мощность излучения у окна лампы для всего интервала 115—200 нм составляла около  $10 \text{ мВт/см}^2$  при токе разряда 6 А /4/. Образцы размещали на воздухе вблизи окна кюветы.

Спектральные зависимости мощности излучения представлены на рис. 1. Соответствующие функции 1 построены по записям спектров на вакуумном монохроматоре ТВМ-8. При этом спектральные функции источника и эталонной маломощной дейтериевой разрядной лампы

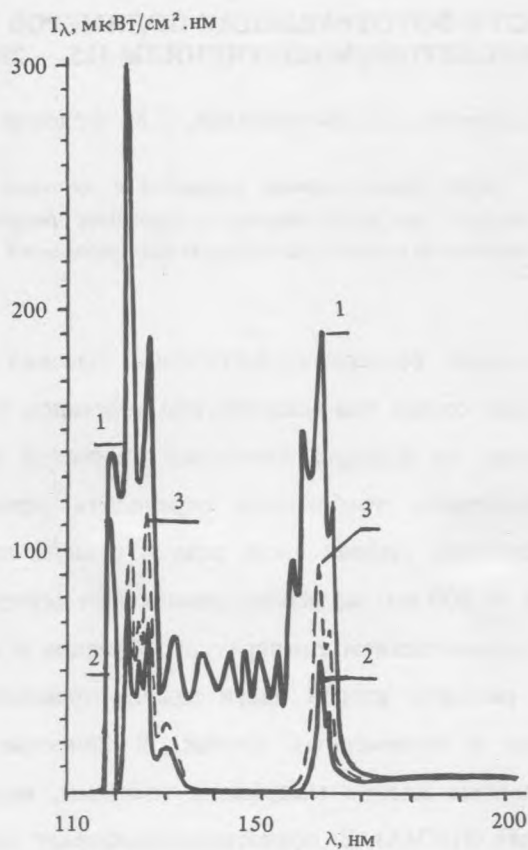


Рис. 1. Спектральная зависимость мощности излучения источника: 1 — при контакте источника и окна спектрометра, температура  $T \approx 100^\circ\text{C}$ ; 2 — зазор между окнами 1 мм,  $T = 100^\circ\text{C}$ ; 3 — зазор 1 мм,  $T = 300^\circ\text{C}$ .

регистрировались в одинаковых условиях. Спектральная ширина щели при этом была 0,8 нм. Спектральная функция эталонной лампы была измерена, как и в /5/, при помощи сравнения с источником синхротронного излучения. Зависимость 1 на рис. 1 соответствует температуре около  $100^\circ\text{C}$ , когда окна источника излучения и спектрометра находились в контакте. Зависимость 2 соответствует температуре около  $100^\circ\text{C}$ , и зазору 1 мм между окнами. Такой зазор был между окном источника и образцами при проведении фототравления. Зависимость 3 соответствует зазору 1 мм и температуре около  $300^\circ\text{C}$ . Как видно, с ростом температуры имеет место просветление воздушного промежутка. Интегральное пропускание излучения при выбранном зазоре 1 мм возрастает примерно в 2 раза.

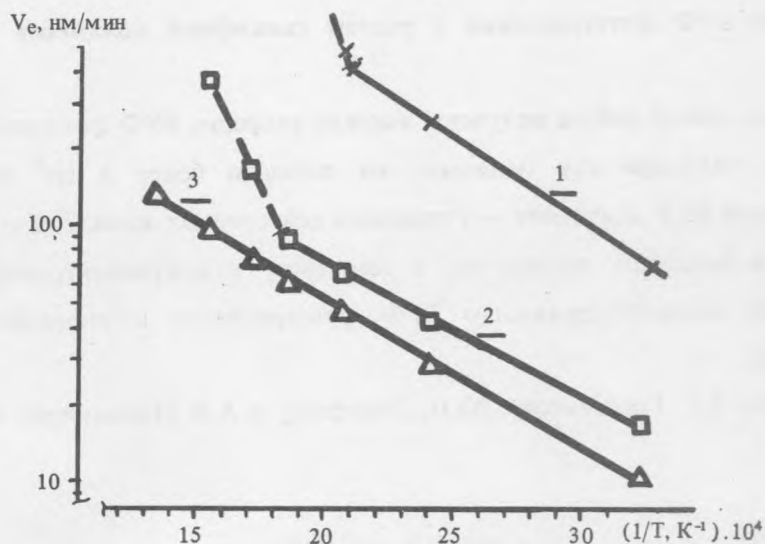


Рис. 2. Зависимость средней скорости ВУФ фототравления полимерных пленок (толщиной около 1 мкм) от температуры при зазоре 1 мм: 1 — ПММА, 2 — лавсан, 3 — полиимид.

Зависимости средних скоростей фототравления ( $V_e$ ) от обратной температуры ( $1/T$ ,  $K^{-1}$ ) представлены на рис. 2. Эти скорости получены делением толщины полимерных слоев (1 мкм) на время фототравления. При этом полная экспозиция увеличивалась дополнительно для того, чтобы полностью провести очистку поверхностей подложек от остатков полимеров. По измерениям Оже-спектров установлено, что после ВУФ очистки углерод на поверхности отсутствовал. Представленные на рис. 2 средние скорости в 1,5–2 раза меньше начальных скоростей фототравления (т.е. непосредственно у поверхности), которые определялись как производные изменения толщины полимеров по времени. Для ПММА (зависимость 1) величины  $V_e$  — более чем на порядок больше величин, полученных в [3]. Для ПММА при  $T \approx 190 - 200$  °С и лавсана при  $T \approx 250 - 280$  °С имеет место значительное возрастание  $V_e$ , обусловленное разрушением полимеров при нагреве. Это проявляется в изломах на зависимостях 1 и 2.

Скорости фототравления при температурах 30 — 100 °С пропорциональны интенсивности ВУФ излучения. Эта зависимость получена при уменьшении интенсивности излучения на порядок и при ее увеличении в 2,5 раза. В последнем случае лампа работала в форсированном режиме вблизи порога разрушения.

Для качественного рассмотрения протекающих процессов следует иметь в виду, что фототравление связано с фотохимическими реакциями продуктов деструкции полимеров и

образованием связей с кислородом. Этот процесс детально исследован для ПММА при комнатной температуре в работе /6/. Однако при высоких температурах для ПММА и для термостойких полимеров механизм ВУФ фототравления с учетом специфики полимеров математически не моделировался.

Таким образом, в данной работе получены высокие скорости ВУФ фототравления даже такого температуростойкого полимера как полиимид на площади более  $5 \text{ см}^2$  при использовании компактных источников ВУФ излучения — отпаянных дейтериевых ламп. Эти скорости приемлемы для использования в процессах технологии, в том числе и микроэлектроники. Количественно установлены условия высокоэффективного ВУФ фототравления и определена температурная зависимость процесса.

Авторы благодарны В.С. Гребенькову, Ю.И. Дорофееву и А.В. Новожилову за помощь в работе и обсуждение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хрущ Б.И. и др. Химия высоких энергий, **11**, 332 (1977).
2. Дорофеев Ю.И., Скурят В.Е. ДАН СССР, **243**, 1479 (1978).
3. Валиев К.А. и др. Письма в ЖТФ, **8**, 33 (1982).
4. Гребеньков В.С. и др. Электронная промышленность, №8, 79 (1989).
5. Tegeler E. Nucl. Instr. and Meth., **A282**, 706 (1989).
6. Дорофеев Ю.И. и др. Химия высоких энергий, **25**, 344 (1991).

Поступила в редакцию 27 октября 1992 г.