

02;04;06;12

Исследование порога абляции для аморфных алмазоподобных пленок под действием излучения ArF эксимерного лазера

© Н.А. Калитеевская, О.И. Коньков, Е.И. Теруков, Р.П. Сейсян

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 13 июля 2000 г.

Эксперименты по исследованию порога абляции аморфных алмазоподобных пленок проводились с целью изучения возможности дальнейшего применения этого материала в качестве фоторезиста для литографии с использованием вакуумного ультрафиолетового излучения (ВУФ). Образцы аморфных алмазоподобных пленок толщиной h порядка 10 нм, выращенные на кремниевых подложках, подвергались воздействию импульсов ArF эксимерного лазера (длина волны излучения $\lambda = 193$ нм, длительность импульса $\tau = 20$ ns) различной интенсивности E_p . Установлено, что при интенсивности импульса меньшей, чем 20 мДж/см^2 , скорость травления крайне мала. При увеличении интенсивности травление становится более эффективным, что связано с появлением термической составляющей абляции. При $E_p = 60 \text{ мДж/см}^2$ достаточно одного импульса для полного удаления пленки.

Дальнейшее развитие микроэлектроники требует развития методов переноса изображения с шаблона на подложку. Одним из перспективных фотолитографических методов является абляция — удаление фоторезиста под действием мощного ультрафиолетового излучения, генерируемого, как правило, эксимерным лазером [1]. Важной особенностью данного метода является отсутствие какой-либо химической обработки резиста после экспонирования — материал удаляется непосредственно под действием излучения, что позволяет уменьшить число шагов в фотолитографическом процессе.

Различают несколько разновидностей абляции. Когда интенсивность падающего излучения не слишком высока, разрушение материала обусловливается разрывом химических связей под действием квантов ультрафиолетового излучения и процесс носит название фотоабляции.

При дальнейшем увеличении интенсивности падающего излучения происходит мгновенный локальный нагрев материала, сопровождающийся возгонкой материала. Такой процесс называется фототермоабляцией.

Для успешного осуществления литографии методом абляции необходимо правильно подобрать материал, используемый в качестве фоторезиста. В последние годы активно исследуется возможность применения различных материалов, в том числе халькогенидных стеклообразных полупроводников [1,2] и алмазоподобных пленок [3] в качестве резистов для фотолитографических процессов, основанных на эффекте абляции.

Целью данной работы было исследование порога абляции для аморфных алмазоподобных пленок под действием импульсного излучения ArF эксимерного лазера с длиной волны излучения $\lambda = 193 \text{ nm}$.

Алмазоподобные пленки обладают высокой твердостью, химической инертностью, высокой оптической прозрачностью, высокими значениями электрического сопротивления и в известной степени предпочтительнее алмазных пленок, поскольку могут быть получены практически на любых подложках при достаточно низких температурах процессов осаждения и большой площади. Их синтез довольно прост и дешев [4]. Количество работ в области синтеза и исследований физических свойств пленок аморфного углерода достаточно велико, однако механизмы формирования структуры таких пленок и связь с ней наблюдаемых физических свойств окончательно еще не поняты. В зависимости от метода выращивания пленки $\alpha\text{-C:H}$ могут содержать значительное количество водорода, находящегося как в связанном, так и в свободном виде. Содержание водорода — ключевой фактор, определяющий структуру пленок и задающий ее физические свойства [5–7].

Пленки аморфного гидрированного углерода $\alpha\text{-C:H}$ толщиной $0.01\text{--}0.02 \mu\text{m}$, синтезированные разложением смеси $10\%\text{CH}_4 + \text{Ar}/\text{H}_2$ в плазме тлеющего разряда, наносились на подложки кристаллического кремния КДБ 7.5. Исследования взаимодействия вакуумного ультрафиолетового излучения с материалом пленки проводились на установке, включающей в себя ArF эксимерный лазер (длина волны $\lambda = 193 \mu\text{m}$, длительность импульса $\tau = 20 \text{ ns}$). При помощи делительной пластины часть излучения (6%) направлялась в измеритель мощности (ИМО), а основное излучение, проходя через прямоугольную диафрагму, попадало на поверхность исследуемого образца (рис. 1).

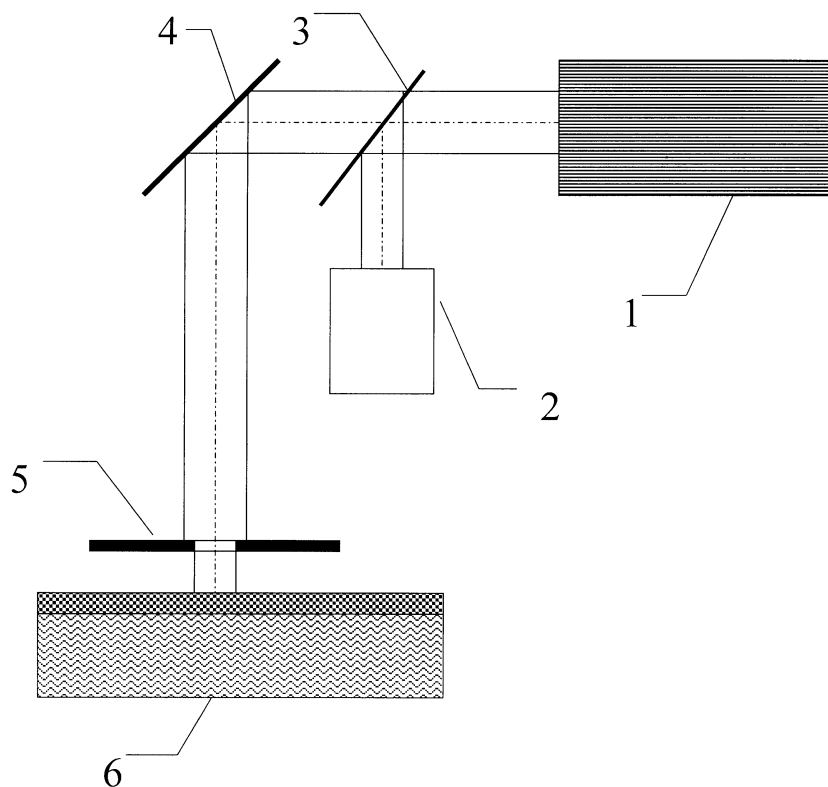


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — эксимерный лазер, 2 — измеритель мощности, 3 — делительная пластина, 4 — поворотное зеркало, 5 — диафрагма, 6 — образец — алмазоподобная пленка на кремниевой подложке.

После облучения образцы исследовались на профилометре DEKТАК 3030, где изображение профилей структуры, получающихся в результате абляции материала с засвеченной области, снимались при помощи сканирования механической иглой вдоль поверхности образца. Изображение рельефа поверхности позволяло получить информацию о толщине удаленного слоя.

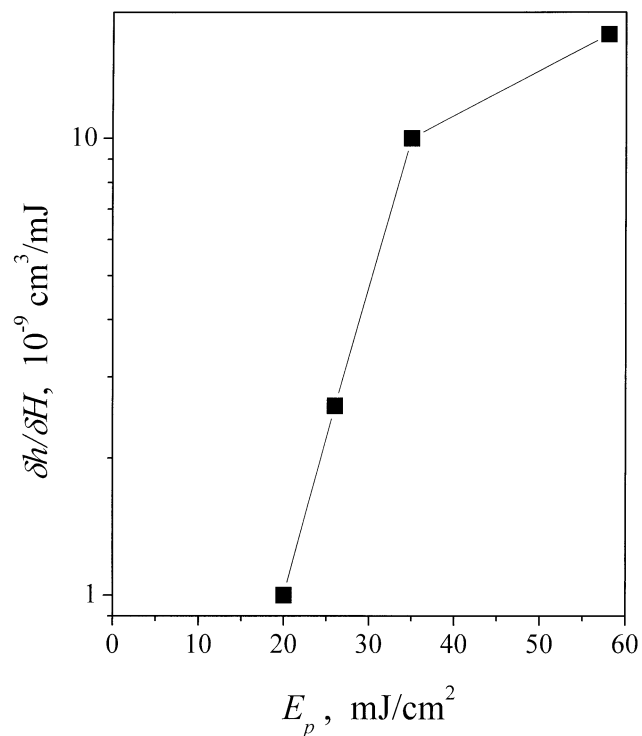


Рис. 2. Зависимость эффективности травления пленки от энергии импульса E_p падающего ВУФ излучения.

В ходе проведения исследований установлено, что доза, необходимая для удаления пленки, существенно зависит от интенсивности падающего ВУФ.

На рис. 2 показана зависимость эффективности травления $\delta h / \delta H$ (где h — толщина пленки, H — доза) от энергии импульса падающего ВУФ излучения E_p . Можно видеть, что если интенсивность E_p меньше 20 mJ/cm^2 , то эффективность травления мала, не превышает $10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mJ}$ и для удаления пленки необходимо более чем 50 импульсов. При увеличении энергии падающего импульса эффективность

травления экспоненциально возрастает:

$$\delta h / \delta H = A \exp(E_p / E_{th}), \quad (1)$$

где пороговая энергия импульса E_{th} имеет значение 6.5 mJ/cm^2 , а постоянная A равна $4.5 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^3/\text{mJ}$. При дальнейшем увеличении интенсивности E_p , при достижении энергии в импульсе 40 mJ/cm^2 происходит излом зависимости $\delta h / \delta H$ от E_p . Подобное поведение зависимости эффективности травления от энергии импульса зависимости наблюдалось в [1], где было установлено, что такой излом соответствует переходу от фотоабляции к термоабляции. При увеличении энергии E_p до 58 mJ/cm^2 полное удаление пленки осуществляется при облучении одним импульсом, что, учитывая крайне малую длительность импульса (20 ns), позволяет осуществлять процесс экспонирования без остановки подложки. Можно видеть, что при увеличении энергии в импульсе, продолжительность которого составляет 20 ns , с 20 до 58 mJ/cm^2 доза, необходимая для удаления пленки толщиной 10 nm , падает в 17 раз.

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за поддержку работы.

Список литературы

- [1] Бараи Е.Г., Кабин А.Ю., Любин В.М., Сейсян Р.П. // ЖТФ. 1992. Т. 62. В. 3. С. 106–113.
- [2] Гладышева Л.Г., Калитеевская Н.А., Сейсян Р.П., Смирнов Д.В. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 15. С. 91–94.
- [3] Rothschild M., Ehrlich D.J. // J. Vac. Sci. Technol. B. V. 5. N. 1. P. 389–390.
- [4] Коньков И.О., Трапезникова И.Н., Теруков Е.И. // ФТП. 1994. Т. 28. В. 8. С. 1406.
- [5] Callegari A., Pomerene A.T., Hovel H.J., Babich E.B., Purushothaman S., Shaw J.M. // J. Vac. Sci. Technol. B. V. 11. N. 6. P. 2697–2699.
- [6] Коньков И.О., Капитонов И.Н., Трапезникова И.Н., Теруков Е.И. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 1. С. 3–8.
- [7] Kon'kov O.I., Terukov E.I., Trapeznikova I.N. // Semiconductors. 1996. V. 30. N 12. P. 1138–1139.