

06;07;12

## Фотоабляция тонких пленок оксида индия под действием импульсного излучения ArF эксимерного лазера

© Н.А. Калитеевская, Р.П. Сейсян

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

Поступило в Редакцию 29 марта 2001 г.

Исследования порога абляции пленок оксида  $\text{In}_2\text{O}_3$  проводились с целью изучения возможности дальнейшего применения этого материала в качестве фоторезиста для литографии с использованием вакуумного ультрафиолетового излучения (ВУФ). Пленки  $\text{In}_2\text{O}_3$  толщиной порядка 30 нм, полученные путем электрон-катодного распыления индия на кварцевые подложки в разреженной кислородосодержащей атмосфере, подвергались воздействию импульсов ArF эксимерного лазера (длина волны излучения  $\lambda = 193$  нм, длительность импульса  $\tau = 20$  нс) различной интенсивности  $E_p$ . Установлено, что при интенсивности импульса, меньшей чем  $30 \text{ мДж/см}^2$ , скорость травления исчезающе мала. При увеличении интенсивности травление становится более эффективным, что связано с появлением термической составляющей абляции.

Оксид индия является полупроводниковым материалом с шириной запрещенной зоны около 3.5 eV [1,2]. Оксид индия является прозрачным для видимого света и при этом обладает высокой электропроводностью, что делает его перспективным материалом для использования в различных оптоэлектронных приборах [3,4], солнечных батареях [5], телевизионной технике. Интересной областью применения оксида индия является создание высокочувствительных детекторов нейтронов [6]. Оксид индия может использоваться в фотолитографической технологии, в которой в качестве фоторезиста используется тонкая пленка неорганического материала, а источника света — эксимерный лазер [7,8]. Такая технология, основанная на эффекте абляции — удалении материала под действием мощного излучения, может иметь ряд преимуществ перед традиционными технологиями, поскольку позволяет сократить число звеньев в технологической цепочке.

Неорганические фоторезисты обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными органическими фоторезистами. Например,

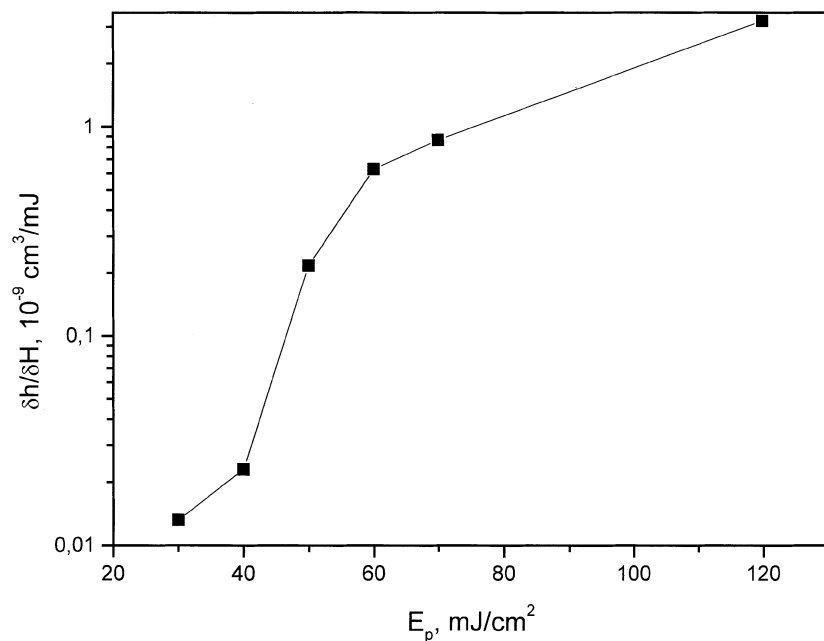
однородность толщины пленки у неорганических резистов значительно лучше, чем у традиционных органических резистов, наносимых на поверхность подложки центрифугированием. Кроме этого, органические полимерные резисты не вполне подходят для вакуумной литографии, так как полимеры содержат большое количество летучих компонентов [9,10].

Целью данной работы было исследование порога абляции для пленок оксида индия  $\text{In}_2\text{O}_3$  под действием импульсного излучения ArF эксимерного лазера с длиной волны излучения  $\lambda = 193 \text{ nm}$ . Пленки оксида индия наносились путем катодного распыления индия в смеси 20% кислорода и 80% аргона, при общем давлении газовой смеси  $5 \cdot 10^{-5} \text{ at}$  на кварцевую подложку при температуре  $300^\circ\text{C}$ .

Исследование взаимодействия вакуумного ультрафиолетового излучения с материалом пленки проводилось на установке, включающей в себя ArF, эксимерный лазер (длина волны  $\lambda = 193 \text{ nm}$ , длительность импульса  $\tau = 20 \text{ ns}$ ). При помощи делительной пластины часть излучения (6%) направлялась в измеритель мощности, а основное излучение, проходя через прямоугольную диафрагму, попадало на поверхность исследуемого образца.

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

На рисунке 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  $30 \text{ mJ/cm}^2$ , то эффективность травления крайне мала, не превышает  $10^{-11} \text{ cm}^3/\text{mJ}$ . Это объясняется, по-видимому, тем, что вероятность разрыва химических связей под действием квантов ультрафиолетового излучения крайне мала. Кроме этого, для оксида индия не может иметь места эффект фотоокисления кислородом воздуха, который играет важную роль при абляции некоторых материалов, например алмазоподобных пленок [9]. Таким образом, единственным механизмом удаления оксида индия под действием излучения эксимерного лазера является термофотоабляция, когда происходит мгновенный локальный нагрев материала, сопровождающийся его возгонкой.



Зависимость эффективности травления пленки от энергии импульса  $E_p$  падающего ВУФ-излучения.

Как видно из рисунка, эффект термофотоабляции для оксида индия начинает проявляться при увеличении энергии импульса до величины  $E_p$  порядка  $30 \text{ mJ/cm}^2$ . Эффективность травления  $\delta h / \delta H$  начинает экспоненциально расти с увеличением энергии импульса, однако при достижении энергией импульса величины  $60 \text{ mJ/cm}^2$  происходит излом зависимости  $\delta h / \delta H$  от  $E_p$ . Наличие подобного излома характерно не только для оксида индия, но и для абляции других материалов [7,8]. При увеличении энергии  $E_p$  до  $120 \text{ mJ/cm}^2$  полное удаление пленки осуществляется в одноимпульсном режиме, что, учитывая крайне малую длительность импульса ( $20 \text{ ns}$ ), позволяет осуществлять процесс экспонирования без остановки подложки.

Таким образом, установлена возможность прямого, безрезистивного формирования рисунка на пленках оксида индия.

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований и МНТП "Наноструктуры" за поддержку работы.

## Список литературы

- [1] *Hamberg I., Granqvist C.G.* // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. P. 123.
- [2] *Badway W.A., Affand H.H., Elgar E.M.* // J. Electrochem. Soc. 1990. V. 137. P. 1592.
- [3] *Chopre K.L., Major S., Pandya D.K.* // Thin Solid Films. 1983. V. 102. P. 1.
- [4] *Manifacier J.C.* Thin Solid Films. 1982. V. 90 (3). P. 297–308.
- [5] *Younggun Han, Donghwan Kim, Jun-Sik Cho, Seok-Keun Koh, Yo Seung Song* // Solar Energy Material and Solar Cells. 2000. V. 65. P. 211–218.
- [6] *Sueva D., Georgiev S.S., Nedev N., Toneva A., Chuikov N.* // Vacuum. 2000. V. 58. N 2, 3. P. 308–314.
- [7] *James H. Brannon* // J. Vac. Sci. Technol. B. 1989. V. 7. N 5. P. 1064–1071.
- [8] *Бараш Е.Г., Кабин А.Ю., Любин В.М., Сейсян Р.П.* // ЖТФ. 1994. Т. 62. В. 3. С. 106–113.
- [9] *Калитевская Н.А., Сейсян Р.П.* // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 23. С. 11–15.
- [10] *Moreau W.M.* Semiconductor Lithography: Principles, Practices, and Materials. New York and London: Plenum Press, 1988.