

05.1; 05.2; 06.2; 07

© 1992

ФОТО- И ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННАЯ ДЕФОРМАЦИЯ  
ПЛЕНОК ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ  
СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

М.Л. Трунов, А.Г. Анчугин

При облучении пленок халькогенидного стекла (ХС)  $As_2S_3$  светом из области края собственного поглощения обнаружены обратимые изменения упруго-пластических свойств пленок. Это явление проявляется в релаксации во время облучения внутренних напряжений в пленках до уровня, близкого к нулевому и связано с существенным влиянием света на способность материала пленки к упругой деформации и его пластические свойства.

Нами впервые применена методика, позволяющая измерять величину внутренних напряжений в пленках ХС непосредственно в процессе их конденсации, облучения и отжига. Ранее это позволило установить общие закономерности процесса релаксации напряжений при облучении свеженапыленной [1] и отожженной [2] пленок, а также его зависимость от температуры подложки при напылении [3, 4]. В настоящей работе впервые показано, что релаксация напряжений при облучении пленок вызвана существенным уменьшением способности материала пленки к упругой деформации, которая восстанавливается после выключения засветки.

Исследования выполнены на пленках толщиной 1–3 мкм, полученных термическим испарением стекла  $As_2S_3$  в вакууме  $10^{-3}$  Па на установке ВУП-5. Пленки осаждались со скоростью 3–5 нм/с на подложки из стекла или мусковита размерами 25х5хх0.15 мм. Облучение пленок проводили расширенным пучком  $Ar^+$ -лазера ( $\lambda = 0.48-0.52$  мкм), плотностью мощности 0.2–0.4 Вт/см<sup>2</sup> а отжиг – на воздухе при температурах, близких к температурам размягчения ( $T_g$ ) исходного стекла. Уровни внутренних напряжений и их изменения при облучении и отжиге определялись по прогибу подложки, который регистрировался „*in situ*” с помощью специально разработанного нами лазерного дилатометра [5].

На рис. 1, а приведены характерные зависимости кинетики изменения внутренних напряжений (в отн. ед.) в процессе фотовоздействия, где  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – уровни напряжений в свеженапыленной и отожженной пленках соответственно. Видно, что облучение как свеженапыленной (кривая 1), так и отожженной (кривая 2) пленок приводит к уменьшению напряжений до уровня, близкого к нулевому. Последующие включения и выключения засветки (кривая 3) вызывают лишь обратимые (фотоупругие) изменения напряжений. Наиболее интересной особенностью представленных на рис. 1, а резуль-

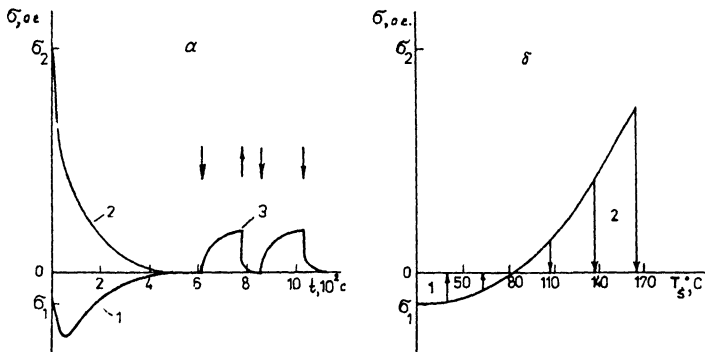


Рис. 1. Зависимость напряжений в пленках  $As_2S_3$  от времени облучения при изменении термической предыстории пленок (1 - свеженанесенная, 2 - отожженная) (а) и технологии их получения ( $T_s$  - температура подложки при нанесении) (б). Стрелками показаны моменты включения ( $\uparrow$ ) и выключения ( $\downarrow$ ) лазера (а) и соответствующие переходы при засветке пленок (б). Температура при облучении пленок - 300 К.

татов является практически неизменное положение уровня внутренних напряжений в облученной до насыщения пленке ХС, величина которых во время облучения близка к нулю.

Установленная выше закономерность не зависит и от технологии получения пленок. Это иллюстрируется на рис. 1, б, где представлены результаты влияния облучения на изменения внутренних напряжений в пленках, полученных при конденсации на подложки, температуры  $T_s$  которых варьировались от 20 до 150 °С. Видно, что облучение пленок при комнатной температуре (переходы 1 и 2) уменьшает остаточные технологические напряжения до нулевого значения, причем характер кинетики изменений сходен с характером кривых 1 и 2 на рис. 1 соответственно.

Для проверки общности указанной закономерности были проведены серии экспериментов по измерению напряжений в пленках при их отжиге и засветке на различных участках кривой „нагрева-охлаждения“ (рис. 2). Видно, что нагрев облученной пленки (кривая а) приводит к первоначальному росту сжимающих напряжений, обусловленных разностью термических коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) материала пленки и подложки, с последующим уменьшением до уровня, приближающегося к нулевому при температуре  $T_g$ . Охлаждение пленки до комнатной температуры (кривая б) за счет разности ТКЛР приводит к росту растягивающих напряжений до уровня  $\sigma_2$ , а последующее облучение (переход 2) возвращает напряжения к нулевому уровню (уровень фотоупругой составляющей условно не показан).

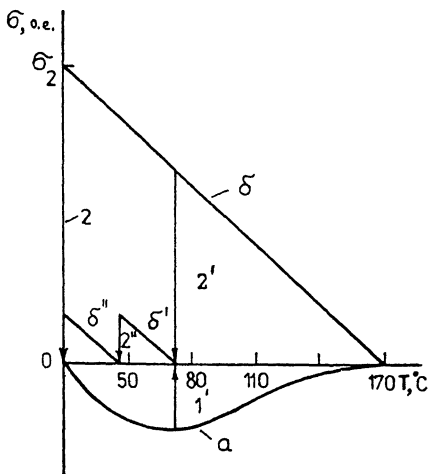


Рис. 2. Зависимость напряжений в пленках  $As_2S_3$  от температуры при облучении. Стрелками показаны соответствующие засветке переходы. Уровень фотоупругой составляющей условно не показан.

Наряду с этим, облучение в любой точке кривой а или б также снимает напряжения до нулевого уровня (переходы 1' и 2'), причем характер кинетики изменений напряжений аналогичен характеру кривых 1 и 2 на рис. 1 соответственно. Охлаждение пленки после выключения засветки (кривая б') аналогично охлаждению отожженной пленки. Описанный цикл повторяется при повторном облучении (переход 2'') - охлаждении пленки (кривая б''). Таким образом, установленная закономерность не зависит не только от термической предыстории и технологии получения пленок, но и от температуры при их облучении.

Поскольку полученные результаты не могут быть объяснены упругими изменениями объема пленок при фотовоздействии, мы предположили, что при облучении пленок ХС существенно уменьшается их способность к упругой деформации. Результатом этого является релаксация напряжений до нуля за счет пластической деформации пленок под нагрузкой, действующей со стороны подложки.

Напомним, что подобное изменение механических свойств, обусловленное действием света, характерно и для кристаллических полупроводников [6] и связывается с особенностями дислокационного механизма пластической деформации кристаллов. Очевидно, однако, что механизм наблюдаемого нами явления в ХС принципиально отличен из-за специфических свойств аморфной структуры.

Обработка экспериментальных кривых (рис. 1-2), проведенная без учета фотоупругой составляющей, показывает, что они хорошо описываются максвелловским законом релаксации  $\sigma = \sigma_{1,2} \exp(-t/\tau)$

с временами релаксации  $\tau \approx 100-1000$  с (в зависимости от мощности лазерного излучения), характеризующим вязкое течение ньютоновской жидкости с вязкостью  $\eta \approx 10^{12}-10^{13}$  П.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в процессе облучения происходит переход пленки из упругого в вязкоупругое состояние (фоторазмягчение), проявляющийся в существенном уменьшении ее вязкости при комнатной температуре до значений, соизмеримых с вязкостью ХС при температуре размягчения  $T_g$ . После выключения засветки упругие свойства пленки восстанавливаются, т.е. указанный выше переход является обратимым по отношению к циклам „включение” – выключение” света.

Предварительные исследования релаксации напряжений в пленках ХС других составов дают сходные с изложенным выше результаты, что свидетельствует об общности и едином механизме наблюдаемого явления.

Авторы благодарны В.И. Власову за интерес к работе и Н.Д. Савченко за полезные обсуждения.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Материалы и устройства для регистрации голограмм / Ред. В.А. Барачевский. Л.: ФТИ, 1986. С. 24.
- [2] Трунов М.Л., Анчугин А.Г., Савченко Н.Д., Фирцак Ю.Ю. // Успехи научной фотографии. 1990. Т. 26. С. 35-38.
- [3] Трунов М.Л., Анчугин А.Г., Савченко Н.Д., Заславский И.Е. Eight International Conference On Ternary And Multinary Compounds. Abstracts. Kishinev. 1990. P. 282.
- [4] Трунов М.Л., Анчугин А.Г., Савченко Н.Д. // ЖНИПФик. 1991. № 5. С. 384-392.
- [5] Анчугин А.Г., Трунов М.Л. и др. // А.с. 1652814. Б.И. 1991. № 20.
- [6] Осипьян Ю.А., Савченко И.Б. // Письма в ЖЭТФ. 1968. Т. 7. № 4. С. 130-134.

Поступило в Редакцию

15 мая 1991 г.

В окончательной редакции

14 декабря 1991 г.