

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПЛАСТИНАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ПОКРЫТИЯ

Каранчук Д.Я., Пусовская Т.И.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
г.Могилев, Беларусь

Перспективным материалом для получения дисперсных систем является стеклокерамика, обладающая такими свойствами, как малая величина линейного КТР, отсутствие фракционного испарения при ее плавлении и возможность избирательной по поверхности аморфизации, т.е. получения оптически прозрачных участков в объеме образца [1].

В качестве подложек использовались пластины толщиной 0,6 мм из оптически непрозрачной стеклокерамики (ситалл СТ-50), на поверхность которых предварительно наносились пленки из титана, германия или серебра. Впоследствии пленки Ti и Ge окислялись на воздухе до оксидов TiO_2 и GeO_2 соответственно. Толщина пленок составляла от 0,15 до 0,35 мкм. Перед воздействием излучением CO_2 лазера (одноимодовый, с максимальной мощностью 25 Вт) образцы предварительно подогревались до температуры 1000-1050 К. Излучение направлялось на поверхность образца через диафрагму без фокусировки. Производилось локальное плавление пластины на всю ее толщину. Воздействию подвергалась грань, не содержащая покрытия. После прекращения облучения и охлаждения расплава до твердого состояния, вещество в зоне воздействия оставалось в аморфной фазе, прозрачной для видимого света.

Нагрев поверхности с покрытием при воздействии лазерного излучения приводит к нарушению его целостности. Сам процесс и порог образования трещин при нагреве пленок зависит от материала пленки и подложки, качества обработки и очистки подложки, толщины пленки, плотности светового потока, времени облучения, числа импульсов и др.

Локальное нагревание тонких пластин (или пленок) приводит к возникновению температурных напряжений, величина которых зависит от градиента температуры. При коротких временах воздействия (десятки нс) упругие деформации приводят к появлению сжимающих напряжений в зоне облучения. При увеличении длительности воздействия характер температурного поля меняется. В этом случае необходимо учитывать размеры прогретой зоны не только в глубину, но и в ширину. Если считать деформации упругими, то внутри зоны радиальные и нормальные напряжения будут сжимающими. Это объясняется тем, что свободному расширению нагретой области препятствуют окружающие участки материала. При $r < r_0$ и равному некоторому значению облучения $r = r_1$,

Напряжения могут стать растягивающими и могут превысить предел прочности и вызвать появление радиальной трещины. Процесс и порог образования трещин (без плавления пленок) зависят от материалов пленки и подложки, качества обработки и очистки подложки, толщины пленки, плотности светового потока и числа импульсов облучения. Пленки со слабой адгезией к подложке растрескиваются чаще. Кроме того, адгезия существенно влияет на характер трещин. Уменьшение плотности светового потока снижает вероятность появления трещин. Увеличение толщины пленки в одних случаях снижает вероятность появления трещин, в других увеличивает. При

термохимическом режиме нагрева (пленка не удаляется) основную роль в механизме появления трещин играет разница коэффициентов теплового расширения (КТР) материала и подложки. Экспериментальная проверка показала [2], что при приближении КТР пленки и подложки вероятность появления трещин значительно сокращается.

Вследствие того, что слои связаны, тепловой нагрев каждого из них будет сопровождаться возникновением напряжений:

$$\begin{aligned} U_1 &= \alpha_1 \Delta T + \frac{\sigma_1}{E_1} \\ U_1 &= \alpha_1 \Delta T + \frac{\sigma_2}{E_2} \end{aligned} \quad (1)$$

где α_1 и α_2 – величина КТР пленки и подложки,

ΔT – изменение температуры при нагреве,

σ_1 и σ_2 – коэффициенты,

E_1 и E_2 – модули Юнга пленки и подложки.

Если материал испытывает растяжение, то $\sigma > 0$, если сжатие $-\sigma < 0$. Не учитывая ограниченность нагреваемого слоя по всем трем координатам в [2] показано, что

$$\sigma_1 = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \Delta T E_1}{1 + \frac{h_1 E_1}{\sqrt{a_2 \tau} \cdot E_2}} \quad (2)$$

$$\sigma_2 = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T E_2}{1 + \sqrt{a_2 \tau} \cdot \frac{E_2}{(h_1 E_2)}}$$

где h_1 – толщина пленки,

$h_2 = \sqrt{a_2 \tau}$ – глубина прогретого слоя,

a_2 – температуропроводность подложки,

τ – длительность облучения.

При $\alpha_1 < \alpha_2$, с учетом того, что при остывании $\Delta T = 0$, как следует из (2), $\sigma_1 < 0$, а $\sigma_2 > 0$, т.е. пленка при остывании испытывает напряжение сжатия, а слой подложки – растяжение. При $\alpha_1 > \alpha_2$, $\sigma_1 > 0$, и $\sigma_2 < 0$, что приводит к растрескиванию пленки. При $\alpha_1 = \alpha_2$ трещины должны отсутствовать. В нашем случае, очевидно, немаловажной причиной разрыва покрытия является увеличение объема вещества в зоне воздействия лазерного излучения при его фазовом переходе из стеклокристаллического состояния в аморфное.

Список использованных источников

1. Волков, В.П. Локальная кристаллизация титаносодержащих стекол под действием лазерного излучения. / В.П. Волков, П.А. Скиба., А.Г. Сечко / Физика и химия стекла. – 1991. - №2 – С.242-246.
2. Вейко, В.П. Лазерная обработка пленочных элементов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 248 с.