

СОЗДАНИЕ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНОГО ПРОВОДЯЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗОВАННОГО ШАБЛОНА

Воронин А. С.^{1,2,3}, Иванченко Ф. С.^{1,2}, Севрюков Р. Г.^{1,2}, Хартов С. В.^{2,3}

Научный руководитель д-р физ.-мат. наук, проф. Лямкин А. И.^{1,3}

¹ *Сибирский федеральный университет*

² *ООО «ФанНано»*

³ *Красноярский научный центр*

Проводящие покрытия, обладающие оптической прозрачностью, а также прозрачностью в других диапазонах спектра, имеют существенное практическое значение. Они находят своё применение для изготовления таких объектов техники как электрообогреваемые и электрохромные стёкла, панели для дисплеев, в том числе сенсорные (тачскрины), электроды для органических светодиодов, электронной бумаги, солнечных батарей, различных оптоэлектронных приборов, подложки для электростимулированного роста живых клеток, защита от электростатики и системы экранирования электромагнитных полей и др.

На текущий момент наиболее распространённым техническим решением является применение покрытий, выполненных на основе проводящих оксидов металлов. В частности широкое распространение получило покрытие на основе индий-оловянного оксида (ITO). К основным недостаткам покрытий данного типа следует отнести относительно высокую стоимость и прогноз её повышения, существенные ограничения по допустимым подложкам (обусловлено методом формирования), существенную потерю прозрачности в ИК-области спектра, низкие механическую гибкость и эластичность. К преимуществам относится высокое соотношение оптической прозрачности и поверхностного сопротивления: порядка 10 Ом/квadrat при 90% прозрачности.

Задача, на решение которой направлена настоящая работа, заключается в создании микро- и наноструктуры и, в основе которых лежали бы процессы самоорганизации и которые позволили бы не использовать дорогостоящие методы литографии для создания микро- и нано-структурированных покрытий, востребованных в ряде практических задач, в частности в задаче создания оптически прозрачных проводящих покрытий.

В ряде работ было показано, что при золь-гель переходе тонкие пленки коллоидных растворов за счет испарения растворителя упорядочено растрескиваются, образуя массив полигональных ячеек. Трещины в данной системе образуют перколированную сетку, а шириной трещины и размером ячейки можно управлять посредством варьирования первоначальной толщины пленки прекурсора.

Процесс формирования оптически прозрачного проводящего покрытия, состоит из четырех этапов: 1- нанесение прекурсора на подложку. Прекурсор наносится на подложку при помощи дозирующего стержня (Maeyer rod); 2- образование геля. На данной стадии происходит формирование пространственной сетки геля. При этом наблюдается резкое увеличение вязкости раствора. Причиной развития трещин в тонкой пленке геля является развитие механических деформаций в результате его сжатия при высыхании, с одной стороны, и прочной адгезии к подложке — с другой. Дальнейшие стадии эволюции геля не представляют интерес в данном исследовании, т.к. при длительном усыхании темплата идет удаление сильно связанной жидкости, в результате чего происходит значительное уширение трещин и изгибная деформация кластеров; 4- вакуумное напыление тонких (50, 100, 150 нм) слоев металла (Al, Cu, Ag, Au), за счет разности высот между поверхностью темплата и подложкой (в зависимости от типа шаблона, составляет 3-7 мкм), пленка металла осаждается не сплошным слоем, в результате чего появляется возможность селективного удаления шаблона с излишками напыленного металла; 5- селективное удаление шаблона липкой лентой.

На рис. 1 показан внешний вид шаблона

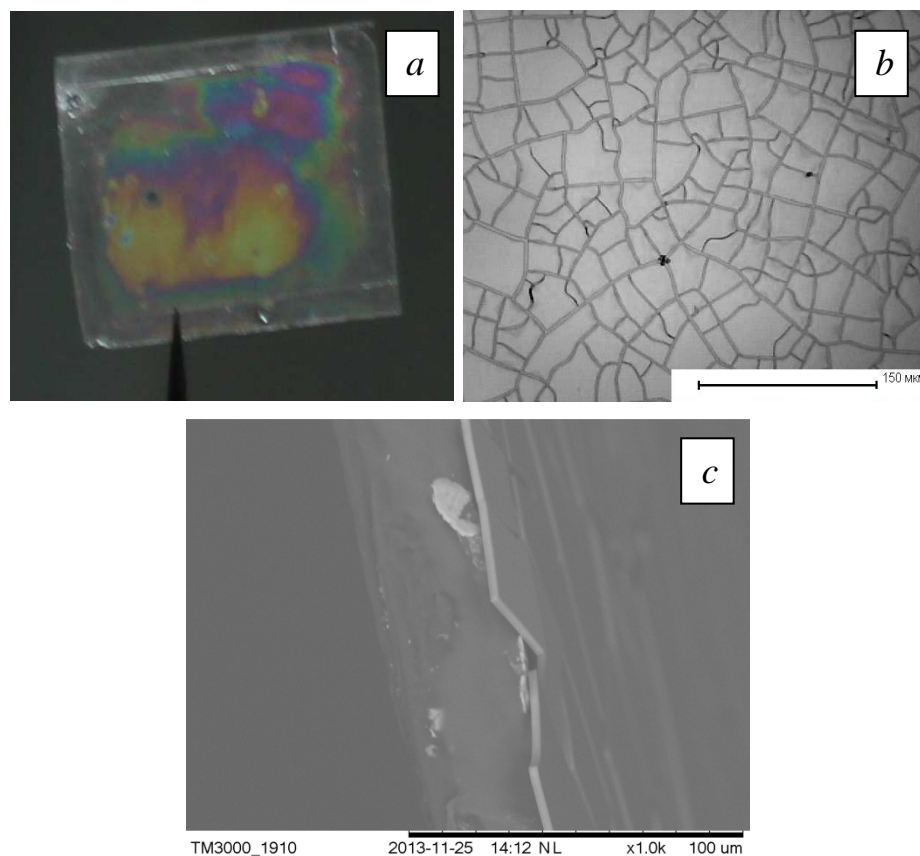


Рисунок 1- *a*- внешний вид шаблона на стекле; *b*- микроструктура шаблона; *c*- скол шаблона

Из изображения 1*a* видно, что шаблон имеет однородное растрескивание на площади $\sim 5 \text{ см}^2$. Толщина шаблона (1*c*) составляет 3 мкм, в то время как толщина жидкого слоя прекурсора в момент нанесения составляла 35 мкм, из чего можно сделать вывод о том, что в процессе золь-гель перехода пленка прекурсора усыхает в 11,5 раз.

Посредством статистической обработки микрофотографии шаблона (1*b*), получена гистограмма распределения кластеров по эффективному размеру (эффективный размер определялся следующим образом, каждый кластер шаблона аппроксимировался квадратом, после чего из значения площади кластера извлекался квадратный корень, полученное значение обозначается эффективным размером кластера) и средние значения ширины трещин. На рисунке представлена гистограмма распределения кластеров, по эффективному размеру для выбранных шаблонов

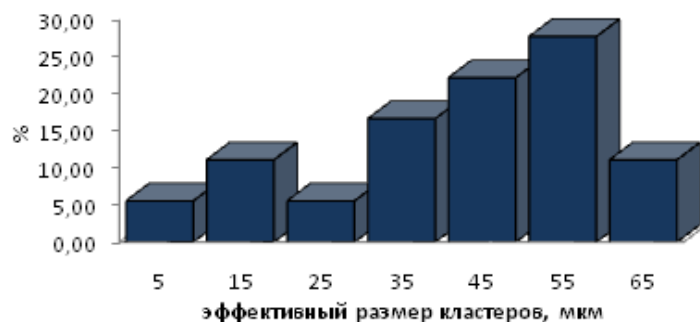


Рисунок 2- гистограмма распределения кластеров шаблона по эффективному размеру

На основе анализа гистограммы можно сделать вывод, о структуре трещинообразования в шаблоне. Структура шаблона состоит из двух «вложенных» друг в друга типа трещин: первый тип- это основная сетка формируемая при первичном растрескивании прекурсора, она дает максимум в правой области гистограммы; второй тип- это второстепенная сетка образуемая дотрескиванием крупных кластеров, это выражено «хвостом» в левой части гистограммы. Средняя ширина трещины равна $2,2 \pm 0,5$ мкм.

Формирование проводящего слоя проводилось средствами магнетронного напыления на установке «Шунгит», формировался слой меди толщиной 50 нм. После напыления металлического слоя на шаблон, излишки металла на поверхности шаблона селективной удалялись липкой лентой вместе с шаблоном, оставляя на подложке связанную систему металлических дорожек. Коэффициент оптического пропускания полученных образцов измерялся при помощи спектрофотометра Shimadzu UV-3600. Поверхностное сопротивление измерялось двух зондовым методом при помощи прижимных контактов. На рис. 3 показаны внешний вид и оптические характеристики прозрачного проводящего покрытия

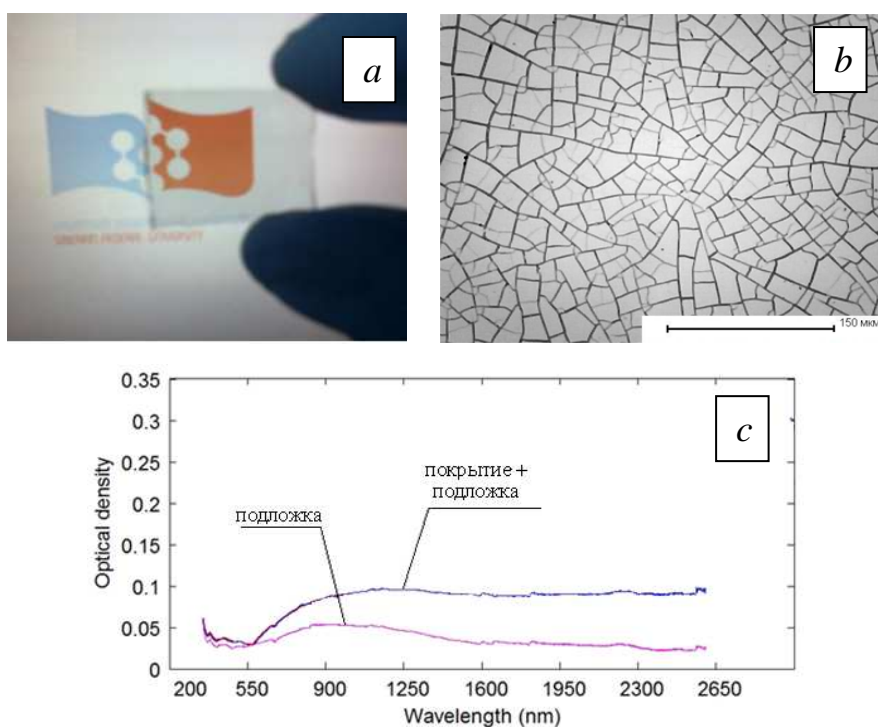


Рисунок 3- *a*- внешний вид покрытия на основе Cu на стекле; *b*- микроструктура покрытия на основе Cu; *c*- спектры оптической плотности стекла и покрытия на основе Cu на стекле

Полученное покрытие характеризуется оптической прозрачностью 91,5%, на длине волны 550 нм и удельным поверхностным сопротивлением $40 \text{ Ом}/\square$. При увеличении толщины металлического слоя в два раза, удельное поверхностное сопротивление уменьшается в 1,5- 2 раза, при уменьшении оптической прозрачности на 4-6%. Важной особенностью покрытия является линейность пропускания в диапазоне длин волн 900-2600 нм, прозрачность покрытия во всем описанном диапазоне равна 82%. Это является важной характеристикой покрытия, так как основное современное технологическое решение, индий- оловянный оксид имеет крутой спад прозрачности после 1200 нм, что ограничивает его использование в устройствах, работающих в инфракрасном диапазоне.