

06

## Возникновение самоупорядоченного рельефа в тонкопленочных структурах

© Д.В. Чесноков, Д.М. Никулин, В.В. Чесноков, А.Е. Чесноков,  
В.С. Корнеев, С.Л. Шергин

Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск  
E-mail: d4@ngs.ru

Поступило в Редакцию 19 февраля 2009 г.

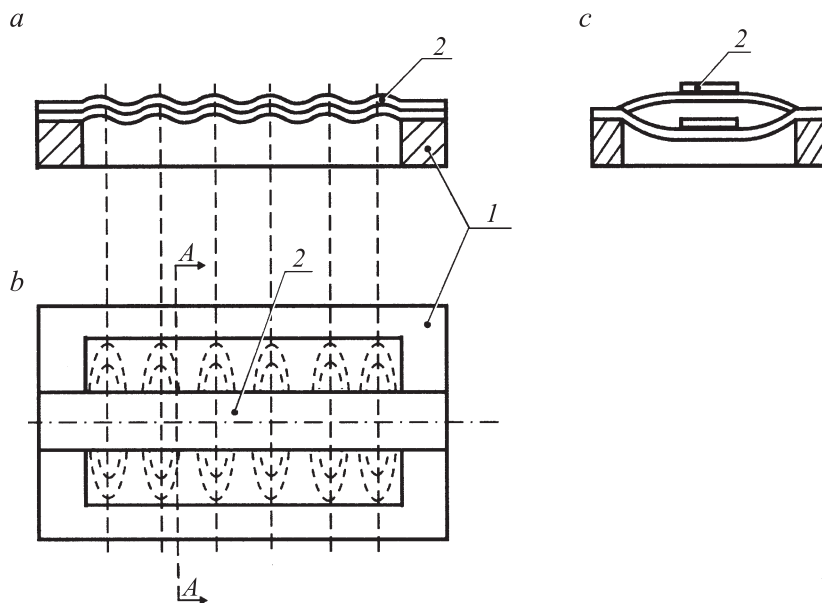
Представлены результаты предварительного экспериментального исследования самообразования гофрированной периодической структуры. Эффект был обнаружен при изготовлении двухслойной свободной пленки, состоящей из слоев металла и полимера.

PACS: 46.70.Hg, 68.35.bm, 68.35.Gy, 68.55.J-, 81.15.Ef

Эффекты самоупорядочения структуры широко исследуются в связи с потенциальными возможностями применения их в нано- и микротехнологиях [1], при изготовлении фотонных кристаллов из синтетических опалов [2] и др. Образование синусоидального гофра в тонкой свободной пленке показано в работе [3]; в работах [4,5] предложено самоформирование гофра в тонких пленках, основанное на использовании выращенных с помощью молекулярной эпитаксии напряженных пленок.

Ниже представлены результаты экспериментов по получению периодического рельефа в виде гофра узкой полоски металла, нанесенного на поверхность нитроцеллюлозной свободной пленки. На рис. 1 показана схематически образовавшаяся структура, на рис. 2 — оптическая фотография центральной части структуры, на которой видна гофрированность металлической полоски.

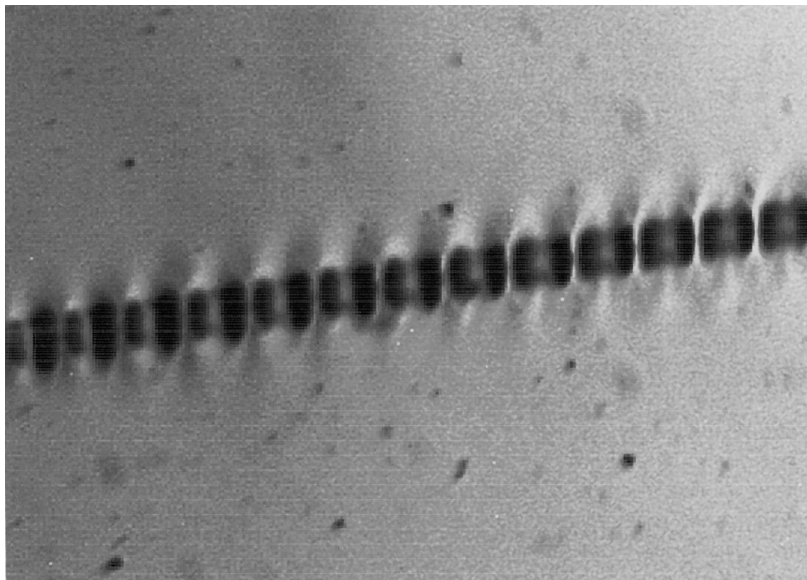
Нитроцеллюлозная свободная пленка получалась известным методом формирования из капли нитролака на поверхности воды. После отверждения и высыхания нитроцеллюлозной пленки она поднималась из жидкости на рамке 1 (рис. 1) и представляла собой натянутую мембрану. Узкая полоска 2 пленки алюминия наносилась вакуумным напылением через маску со щелью; специального нагревания структур при напылении не проводилось, но нагревание ее осаждающимися



**Рис. 1.** Картина периодической структуры, возникающей при самопроизвольном гофрировании тонких свободных пленок.

парами алюминия было неизбежным. После выноса структур из вакуумной установки металлическая пленка имела вид периодического гофра, шаг которого зависел от толщин пленок алюминия и нитроцеллюлозы (рис. 2) и лежал в диапазоне  $5 \div 20 \mu\text{m}$ . По сторонам алюминиевой полоски поверхность полимерной пленки была деформирована, имела вид „долин“, исходящих широкой стороной от элементов гофра: по мере удаления от алюминиевой полоски их глубина уменьшалась до нуля. На рис. 1: *a* — пунктиром условно показаны изолинии рельефа этих „долин“, *c* (вид по *A*) — видим пространственное расположение полосок алюминия и полимерной мембраны в сечениях по дну долины (низ структуры) и по верхней части рельефа, соответствующей выпуклой части гофра полоски (верх структуры).

Картина периодических гофр исчезала при напылении алюминия более широкой полосой (сотни  $\mu\text{m}$ ); напыление алюминия на нитроцел-



**Рис. 2.** Изображение микрографа, образовавшегося после вакуумного напыления полоски алюминия на мембрану из нитроцеллюлозы. Горизонтальный размер всего изображения равен  $280 \mu\text{m}$ .

люлозную мембрану без маски при малых толщинах алюминия (десятки  $\text{nm}$ ) и нитроцеллюлозы (порядка  $100 \text{ nm}$ ) приводило к образованию беспорядочного рельефа в виде случайно расположенных „горбов“ и „впадин“.

В таблице приведены геометрические параметры напыленных слоев и полученных рельефных структур.

Из данных таблицы видно, что с уменьшением толщины напыленного слоя алюминия шаг периодической структуры уменьшается до  $5\text{--}8 \mu\text{m}$ . Высота выступов рельефа составляла  $2\text{--}3 \mu\text{m}$ .

Оценочные расчеты, основанные на значениях собственных напряжений в алюминиевых пленках, напыленных на целлюлозную пленку (напряжение  $\sigma = 1.2 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ , имеет растягивающий характер [6]), и термических напряжений охлаждения алюминия (при охлаждении закрепленной пленки на  $\Delta T = 10 \text{ K}$  в ней возникают механические

Результаты измерений рельефных поверхностей

№	Толщина, nm		Ширина Al полоски, $\mu\text{m}$	Шаг струк- туры, $\mu\text{m}$
	лака	алюминия		
1	60	40	15.8–23.7	23.4
2	50	40	23.7	15.8
3	50	25	23.7–39.5	13.1
4	56	25	23.7–31.6	13.1
5	60	20	23.7	7.9
6	50	< 20	15.8	4.9
7	30	70	23.7–55.3	12.1–13.1
8	50	70	31.6–39.5	21.1
9	30	45	31.6–39.5	7.2
10	40	45	31.6	11.3

напряжения растяжения  $\sigma = 1.7 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ ) [7], показали, что разница в термических расширениях пленок лака и алюминия не может быть причиной образования периодической структуры. Можно найти, что длина материала гофрированной полоски больше расстояния между краями удерживающей ее рамки на 7–8%, что заставляет сделать предположение о возникновении гофрированности в процессе напыления металла на полимер.

Изучение обнаруженного эффекта продолжается с целью построения модели процесса образования гофрированных упорядоченных структур в тонкопленочных свободных слоях. Анализируются возможности создания гофра с шагом структуры менее микрона, рельефных периодических нано- и микроразмерных структур и дифракционных оптических решеток на основе гофрированных структур.

## Список литературы

- [1] *Нанотехнология* в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса, П. Аливисатоса. Пер. с англ. А.В. Хапомяна, Р.А. Андриевского. М.: Мир, 2002.
- [2] *Astratov V.N., Vlasov Yu.A., Karimov O.Z. et al. // Phys. Let.* 1996. V. 222. P. 349–353.
- [3] *Conru H.M. // J. Appl. Phys.* 1976. V. 47. N 5. P. 2079.

- [4] *Прищ В.Я.* // Изв. вузов. Физика. 2003. Т. 46. № 6. С. 35.
- [5] *Нанотехнологии в полупроводниковой электронике* / Отв. ред. А.Л. Асеев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. С. 185–120.
- [6] *Гофман Р.У.* // Физика тонких пленок. Т. III / Под общей ред. Г. Хасса и Р.Э. Туна. Пер. с англ. под ред. В.Б. Сахдомирского. М.: Мир, 1968.
- [7] *Романов А.С., Щеглова В.В.* // Обзоры по электронной технике. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. Вып. 6. (798). М.: ЦНИИ „Электроника“. 1981.