

**Конструкционные материалы (студенты, аспиранты, молодые ученые).  
Задача 11\* «Специальные покрытия» (инженерно-материаловедческая).**

Технология создания высокой удельной поверхности вакуумных конденсатов за счет открытой макро и микропористости давно и активно развивается, находя применение в модификации поверхности (нанесение губчатого слоя) катодных фольг электролитических конденсаторов. Механизмы порообразования в вакуумных конденсатах подробно исследованы [1-9]. Пористые ионно-плазменные конденсаты имеют высокую открытую пористость при столбчатом характере роста; нанесенные магнетронным методом гетероструктуры алюминевая фольга – титан – нитрид титана [8] показали удельные значения емкости до  $3000 \text{ мкФ} \cdot \text{см}^{-2}$ . Однако еще большие значения открытой пористости достигаются путем формирования наноструктурных элементов второй фазы [9] путем введения углерода в виде наночастиц (фуллерены и нанотрубки). Нанокompозитное покрытие с высокой открытой пористостью в системе оксид алюминия - углерод нанесено на алюминиевые фольги методом высокочастотного магнетронного распыления. Развитая поверхность проводящей фазы обеспечивается формированием углеродных наноструктур (нанотрубки и наноленты) в пористой матрице оксида алюминия.

Высокая открытая пористость покрытия (см. рис. 1) достигается и при магнетронном (на постоянном токе) распылении мишени графита.

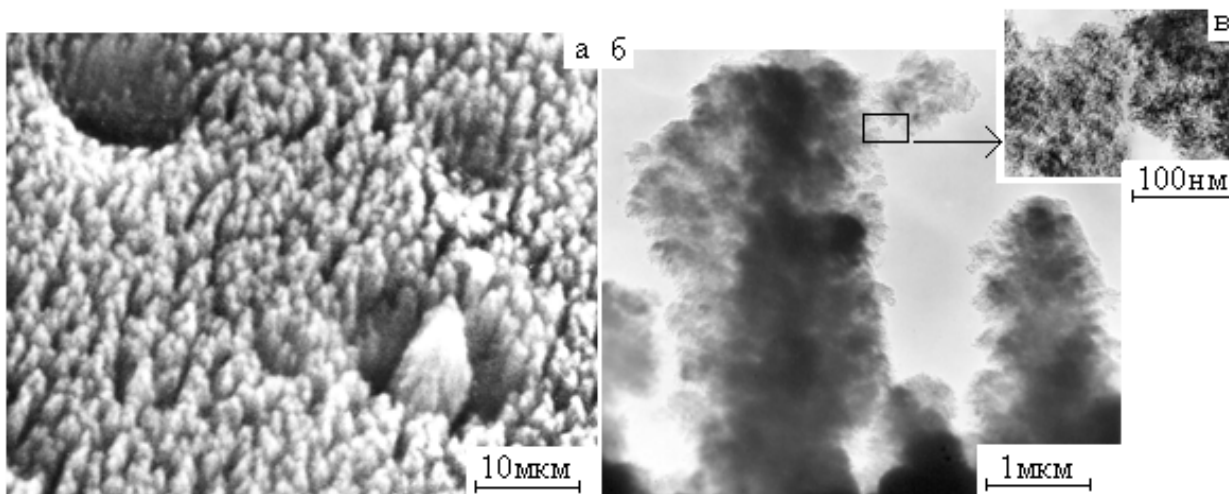


Рис. 1 РЭМ (а) и ПЭМ изображения профиля поверхности (б, в) конденсата углерода

В этом случае, роль кристаллической и аморфной фазы выполняют нанокристаллические включения (см. рис. 2) графита и матрица углерода.

**1) Назовите возможную причину увеличения эффективной площади поверхности конденсата (2 балла).**

2) По приведенным изображениям (рис. 1,2) оцените кратность увеличения удельной площади поверхности конденсата (2 балла).

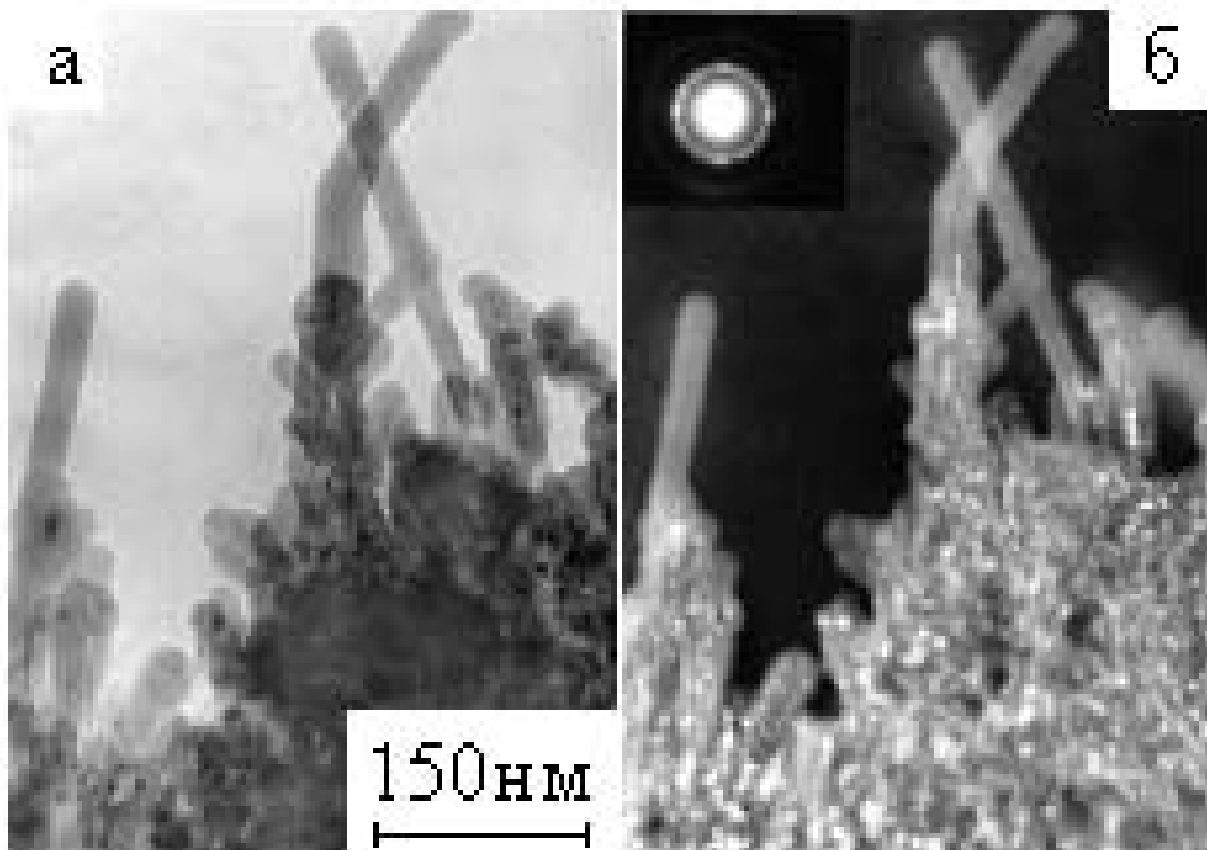


Рис. 2 Светлопольное (а) и темнопольное (б) ПЭМ изображения ионно-плазменного конденсата углерода.

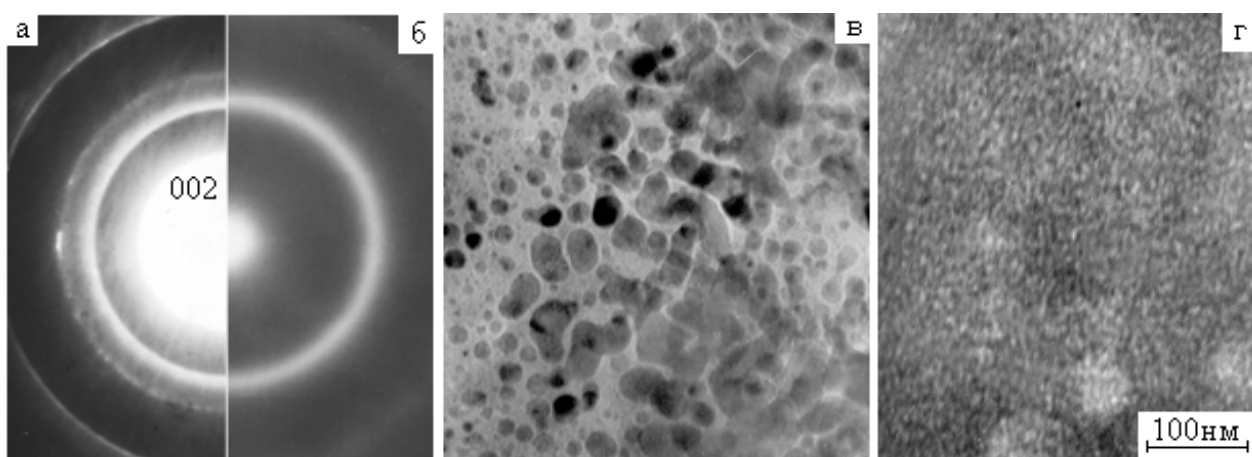


Рис. 3 Электронограммы (а,б) и ПЭМ изображения (в,г) слоев углерода у свободной поверхности (а,в) и у границы с подложкой (б,г).

Градиенты структуры и фазового состава имеют место и в объеме ионно-плазменного покрытия, на рис. 3 представлены картины ДБЭ и ПЭМ изображения структуры ионно-

плазменного конденсата углерода (после утонения четырехмикронного слоя до толщины, прозрачной для пучка электронов) у свободной поверхности и у межфазной границы с подложкой.

**3) Назовите факторы неоднородности условий роста, вызывающие формирование градиентов структуры и фазового состава (1 балл).**

**4) Предложите механизм реализации градиентов структуры и фазового состава углеродного конденсата (3 балла).**

Аналогично, высокие значения открытой и закрытой пористости покрытий, формируемых реактивным магнетронным (на постоянном токе) распылением мишени алюминия в кислородсодержащей атмосфере, достигнуты при асистирувании реактивной плазмы формированию двухфазной (Al-оксид алюминия) структуры покрытия [10,11].

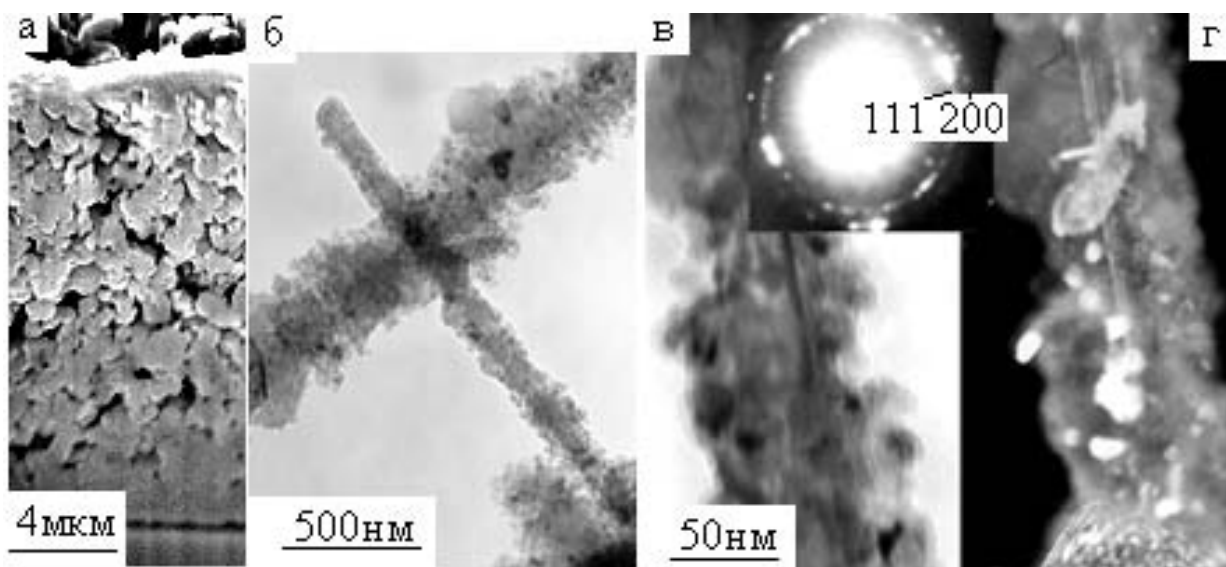


Рис. 4 РЭМ (а) и ПЭМ изображения профиля поверхности (б-г) конденсата алюминий – оксид алюминия.

На РЭМ изображении профиля ионно-плазменного конденсата Al-оксид алюминия (см. рис. 4 а) наиболее компактно выглядит слой толщиной  $\approx 2$  мкм у межфазной границы с подложкой. У свободной поверхности формируются анизотропные нитевидные кристаллы алюминия (вискеры). Расположение нитевидных кристаллов относительно ростовой поверхности произвольное (рис. 4 б). Темнопольный анализ иллюстрирует архитектуру морфоанизотропных составов – аморфная матрица окисленного металла содержит один нитевидный монокристалл и множество нанокристаллов алюминия (рис. 4 в, г).

5) Назовите фундаментальные причины, определяющие принципиальную возможность формирования вискеров (2 балла).

6) Предложите механизм формирования нитевидных кристаллов алюминия в аморфно-нанокристаллической оболочке (3 балла).

На рис. 5 представлен концентрационный профиль, полученный методом РСХА, ионно-плазменного конденсата Al-оксид алюминия (толщиной 20 мкм) на медной подложке.

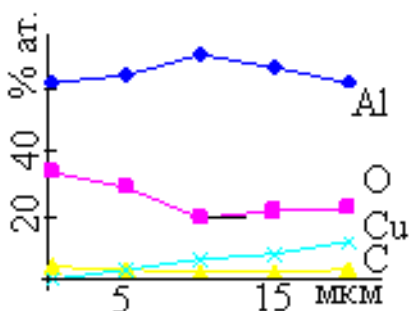


Рис. 5 Профиль концентраций ионно-плазменного конденсата Al-оксид алюминия

Доля кислорода, минимальная в объеме слоя, возрастает к свободной поверхности и у межфазной границы с подложкой, т.е. реализуется градиент элементного состава композита.

7) Почему у свободной поверхности степень окисления алюминия максимальна (2 балла)?

8) Что обеспечивает ионно-плазменное ассистирование конденсации (1 балл)?

9) Назовите возможные функциональные применения аморфно-нанокристаллических структур с сильно развитой удельной поверхностью (1 балл).

#### Методические замечания:

1. Задача решается в рамках базовых знаний и здравого смысла
2. Вопросы можно задать в специальном разделе форума <http://www.nanometer.ru/forum/viewforum.php?f=19> или найти ответ самостоятельно (в том числе изучив доступные Вам Лекции на сайте Олимпиады <http://www.nanometer.ru/lectures.html?UP=156195>)
3. Решение оформляется и отправляется только в электронном виде, как описано в инструкциях к работе с задачами и решениями заочного теоретического тура, приведенных в разделе «Олимпиада» [http://www.nanometer.ru/olymp2\\_o4.html](http://www.nanometer.ru/olymp2_o4.html)
4. Подписывать решения не надо, Ваша фамилия, имя и отчество будут зашифрованы при проверке, идентификация для системы проверки производится по логину и паролю, который Вы вводите при входе на сайт Олимпиады [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru) в качестве участника (этот пароль Вы задавали при регистрации и заполнении анкеты участника).