

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПЛЕНКИ ХРОМА

Андрей Николаевич Агафонов¹ (ассистент кафедры наноинженерии, e-mail: andr_agafonov@mail.ru),

Олег Юрьевич Моисеев² (старший научный сотрудник, e-mail: moiseev@smr.ru),

Александр Александрович Корлюков³ (научный сотрудник, e-mail: alex@xrlab.ineos.ac.ru)

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева,

²Институт систем обработки изображений РАН,

³Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН

Аннотация

Исследовано влияние структуры пленки хрома на процессы термохимического окисления, стимулированного лазерным излучением. Приведены результаты численных и натуральных экспериментов. Показана возможность записи структур с характерным размером меньше диаметра записывающего лазерного луча.

Ключевые слова: хром, окисление, структура пленки, кристаллит, лазерная запись.

Введение

В настоящее время активно развиваются технологии прямой лазерной записи фотошаблонов, основанные на термофизическом [1,2,3] и термохимическом механизмах воздействия лазерного излучения [4,5].

Одной из наиболее перспективных технологий создания фотошаблонов для изготовления дифракционных оптических элементов (ДОЭ) является технология термохимического окисления пленок хрома под действием лазерного излучения. При изготовлении фотошаблона по этой технологии нанесенная на подложку пленка хрома толщиной 30–200 нм локально окисляется при нагреве лазерным излучением. Реализация технологии локального термохимического окисления пленок хрома лазерным излучением описана в [6,7,8].

Существующие теоретические подходы к описанию этих процессов [4,5,9,10] базируются на следующих основных предположениях:

1. Материал пленки хрома и оксидной пленки считается однородным.
2. Основной фактор, лимитирующий окисление, – диффузия атмосферного кислорода в пленку хрома.

Такие базовые предположения позволяют хорошо описывать процессы на относительно толстых (>150 нм) пленках. Однако при использовании перспективных для записи тонких пленок (<50 нм) возникают ситуации, когда характерный размер кристаллита оказывается сравнимым по величине с толщиной пленки хрома, что вызывает необходимость более подробного изучения влияния структуры пленки хрома на процесс термохимического окисления.

Традиционно считается [9], что термохимической технологией можно получить элементы с минимальным характерным размером около длины волны экспонирующего излучения. Однако в последние годы был получен ряд экспериментальных результатов [4], показывающих возможность получения элементов, размер которых значительно меньше. Для наиболее эффективного использования

этой возможности необходимо исследовать физику процессов транспорта кислорода в пленке хрома, кинетику непосредственно окисления, диссипацию энергии в пленке хрома с учетом влияния на эти процессы неоднородности пленки хрома.

Имеющиеся данные о наличии в поверхностных слоях хрома достаточно большого количества кислорода ($\approx 2\%$ от общего количества атомов в слое ≈ 200 нм) [11], как показано далее, также требуют учета его влияния на кинетику окисления пленки хрома.

Авторами был проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований, направленных на выяснение влияния структуры пленки хрома и растворенного в ней кислорода на процесс лазерной записи, результаты которых представлены ниже.

1. Моделирование процесса термохимического окисления пленок хрома под действием лазерного излучения

Для теоретического описания процессов окисления различных по структуре пленок хрома была использована разработанная ранее физико-математическая модель [12,13].

Новизна предложенной модели заключается в следующем:

1. Пленка считается неоднородной, выделяются отдельные кристаллиты.
2. Считается, что окисление идет как атмосферным кислородом, так и кислородом, растворенным в пленке хрома.
3. Для описания физико-химических процессов, проходящих в системе, использован метод вероятностного клеточного автомата (ВКА).

Применение метода ВКА для моделирования физико-химических процессов в пленке хрома позволило учесть влияние структуры пленки хрома на процессы окисления под действием лазерного излучения. Подробное описание использования метода ВКА для моделирования различных физико-химических процессов можно найти в работе [14], а также в предыдущих работах одного из авторов [12,13]. Значения энергии активации физико-

химических процессов в пленке хрома были оценены исходя из известных констант скоростей реакций и коэффициентов диффузии [15] методами, описанными в [16].

При моделировании процессов поглощения и теплопередачи был использован пакет MATLAB 7.0.1, для моделирования физико-химических процессов в среде Delphi 7 была разработана программа, реализующая метод ВКА.

Был проведен ряд численных экспериментов, направленных на выяснение влияния структуры пленки хрома на процессы ее окисления, стимулированного лазерным излучением. Для этого было проведено три серии вычислений, в которых моделировалось окисление пленок с различным характерным размером кристаллитов – 10 нм, 15 нм и 25 нм.

В проведенных экспериментах отличались только моделируемые структуры пленок. Остальные параметры моделируемой системы были одинаковы для всех экспериментов.

Вычисления выполнялись в предположении, что размеры и форма кристаллитов сохраняются при нагреве лазерным излучением. Кислород считался равномерно распределенным в межкристаллитном пространстве.

Для упрощения расчетов динамика тепловых полей предполагалась одинаковой для всех случаев.

Ниже приведены вертикальные срезы пленок хрома, полученные в результате численных экспериментов по моделированию окисления пленок хрома с различной структурой (размером кристаллитов).

Эксперимент 1. Пленка состоит из кристаллитов размером 5 нм, разделенных аморфной фазой.

На рис. 1 приведены вертикальные срезы пленок хрома, полученные в результате численных экспериментов по моделированию окисления пленок хрома с характерным размером кристаллитов около 5 нм при мощности излучения лазера 15 мВт (рис. 1а), 30 мВт (рис. 1б), 45 мВт (рис. 1в).

Эксперимент 2. Пленка состоит из кристаллитов размером 10 нм, разделенных аморфной фазой, при мощности излучения лазера 15 мВт (рис. 2а), 30 мВт (рис. 2б), 45 мВт (рис. 2в).

Эксперимент 3. Пленка состоит из кристаллитов размером 25 нм, разделенных аморфной фазой, при мощности излучения лазера 15 мВт (рис. 3а), 30 мВт (рис. 3б), 45 мВт (рис. 3в).

Численное моделирование процессов окисления с учетом структуры пленки хрома для пленок толщиной (<50 нм) дает результаты, принципиально отличающиеся от известных ранее (рис. 4):

1. Происходит окисление границ кристаллитов, а не рост непрерывной оксидной пленки.
2. Зона окисления находится на границе хром – стекло, а не на границе хром – воздух.

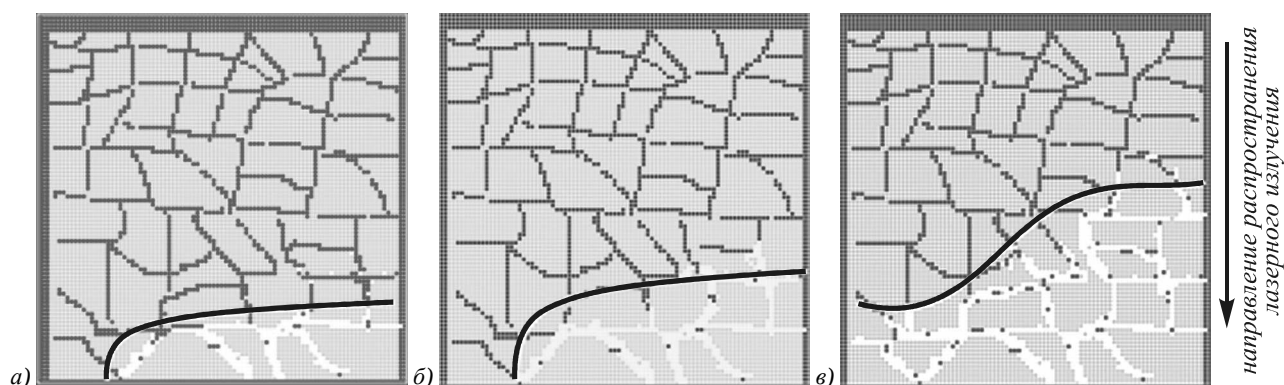


Рис. 1. Результаты моделирования окисления пленки с характерным размером кристаллитов ≈ 5 нм. Темно-серым показаны границы кристаллитов; серым - хром; светло-серым - оксид хрома; сплошная линия - профиль после химического травления (показан условно)

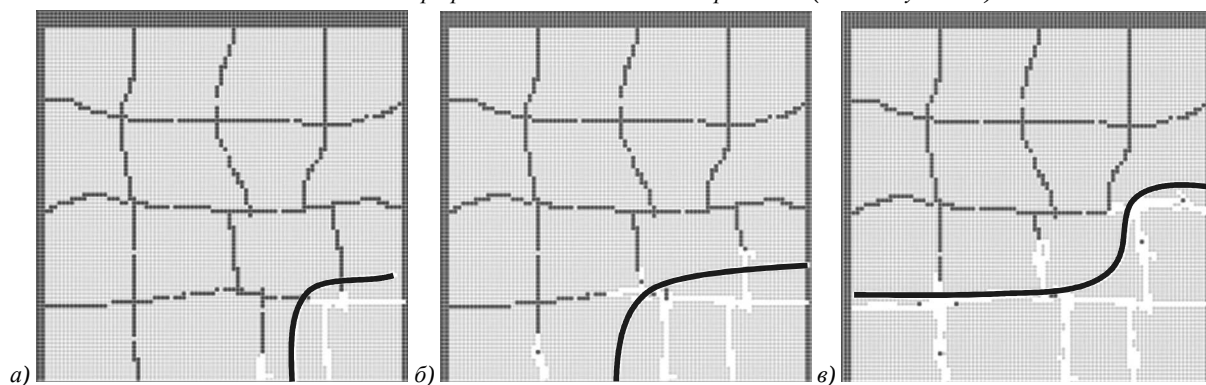


Рис. 2. Результаты моделирования окисления пленки с характерным размером кристаллитов ≈ 10 нм

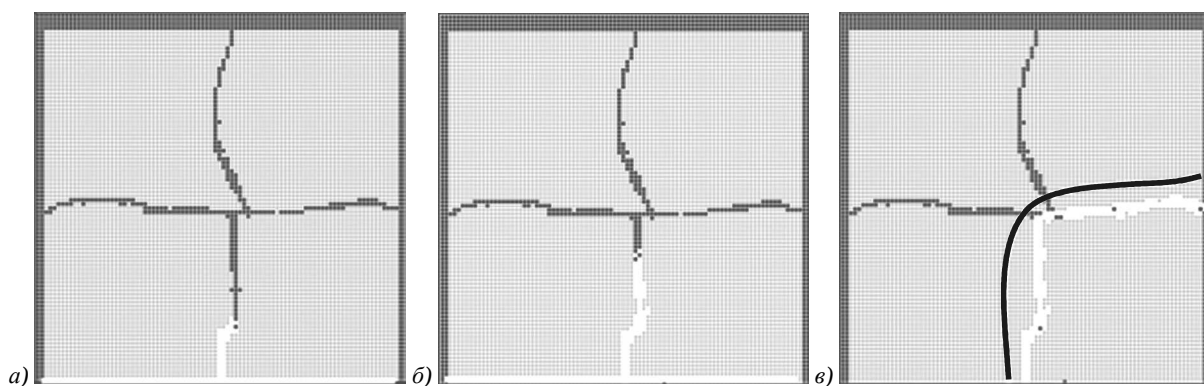


Рис. 3. Результаты моделирования окисления пленки с характерным размером кристаллитов ≈ 25 нм

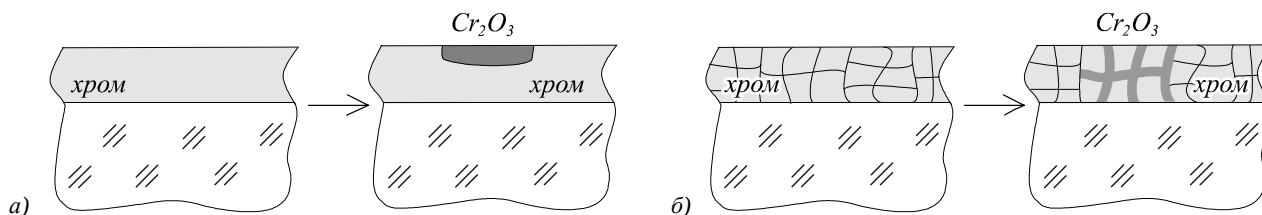


Рис. 4. Основные отличия в результатах моделирования: известные ранее модели (а), разработанная модель (б). Масштаб не соблюден

2. Экспериментальное исследование влияния микроструктуры пленки на результаты лазерной записи

2.1. Исследование параметров тестовых пленок хрома

Для экспериментов по выяснению влияния кристалличности пленки на процесс окисления был использован ряд пленок хрома с различным характерным размером кристаллитов. Напыление производилось термовакuumным методом при различной температуре подложек (табл. 1.). Характерный размер кристаллитов напыленных пленок был определен при помощи рентгеноструктурного анализа. Дополнительно проводились замеры коэффициента пропускания, что также позволило косвенно оценить размер кристаллитов. Косвенный метод оценки размера кристаллитов базируется на известной зависимости затухания электромагнитной волны в металле от его проводимости [17,18] и на известной зависимости электрического сопротивления пленки хрома от ее кристалличности [19].

Результаты измерений приведены в таблице 1.

Все рентгеноструктурные измерения ($\Theta/2\Theta$ -сканирование) проводились при температуре 25° с использованием излучения с длиной волны λ [CuK α] = 1,541 Å. Интенсивности были измерены в интервале углов $2\Theta = 10 \div 90^\circ$ с шагом $0,02^\circ$. Были сняты дифрактограммы на отражение и с использованием техники скользящего падающего луча [20] (угол скольжения – $5,1^\circ$).

Невозможность измерить характерный размер кристаллита методами рентгеноструктурного анализа говорит о том, что пленку (образец №3, табл. 1) можно считать квазиаморфной (размер кристаллитов < 2 нм).

Табл. 1. Параметры исследуемых пленок хрома

№ подложки	Температура напыления, $^\circ\text{C}$	Толщина пленки хрома, нм	Характерный размер кристаллита, нм	Коэффициент пропускания на частоте 468 нм***
1	300	50-55	23*	$1,5 \cdot 10^{-3}$
2	200	50-55	15**	$1,7 \cdot 10^{-3}$
3	100	50-55	кристаллиты не обнаружены*	$2 \cdot 10^{-3}$

* – по данным рентгеноструктурного анализа. Измерения выполнялись на дифрактометре Bruker D8 Advance.

** – Размер кристаллита оценивался косвенно, по коэффициенту пропускания.

*** – коэффициент пропускания определялся на эллипсометре M2000 (Woolam Company).

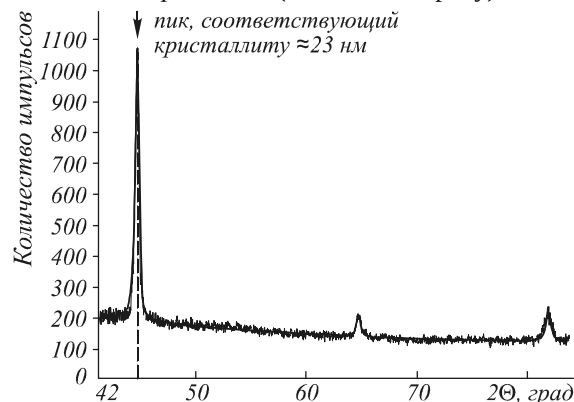


Рис. 5. Дифрактограмма образца с размером кристаллитов 23 нм. Техника скользящего падающего луча. Пики от подложки отсутствуют

2.2. Исследование параметров тестовых структур

Для исследования влияния структуры пленки хрома на кинетику термохимического окисления на каждую подложку на станции лазерной записи CLWS200 была записана тестовая структура, состоящая из 50 кольцевых треков максимальным диаметром 4 мм. Мощность при записи изменялась от максимальной (700 мВт) на внешнем треке до 0 на внутреннем с шагом в 2%, диаметр записывающего пятна $d = 0,8$ мкм, период структуры 2 мкм (параметры пленки хрома приведены в табл. 1).

Были проведены исследования образцов на сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ исследования) как после лазерной записи скрытого изо-

бражения в пленке хрома, так и после химического травления.

На рис. 6 приведены результаты СЗМ исследования поверхностей до химического травления квазиаморфной пленки (рис. 6а,б) и пленки с характерным размером кристаллита около 23 нм (рис. 6в,г).

На рис. 7 приведены результаты СЗМ исследования поверхностей после химического травления (хром удален) квазиаморфной пленки – 7а,б, пленки с характерным размером кристаллита около 23 нм – 7в,г. Как видно из результатов СЗМ, на пленках с различным характерным размером кристаллитов после химического травления были получены существенно разные типы рельефа.

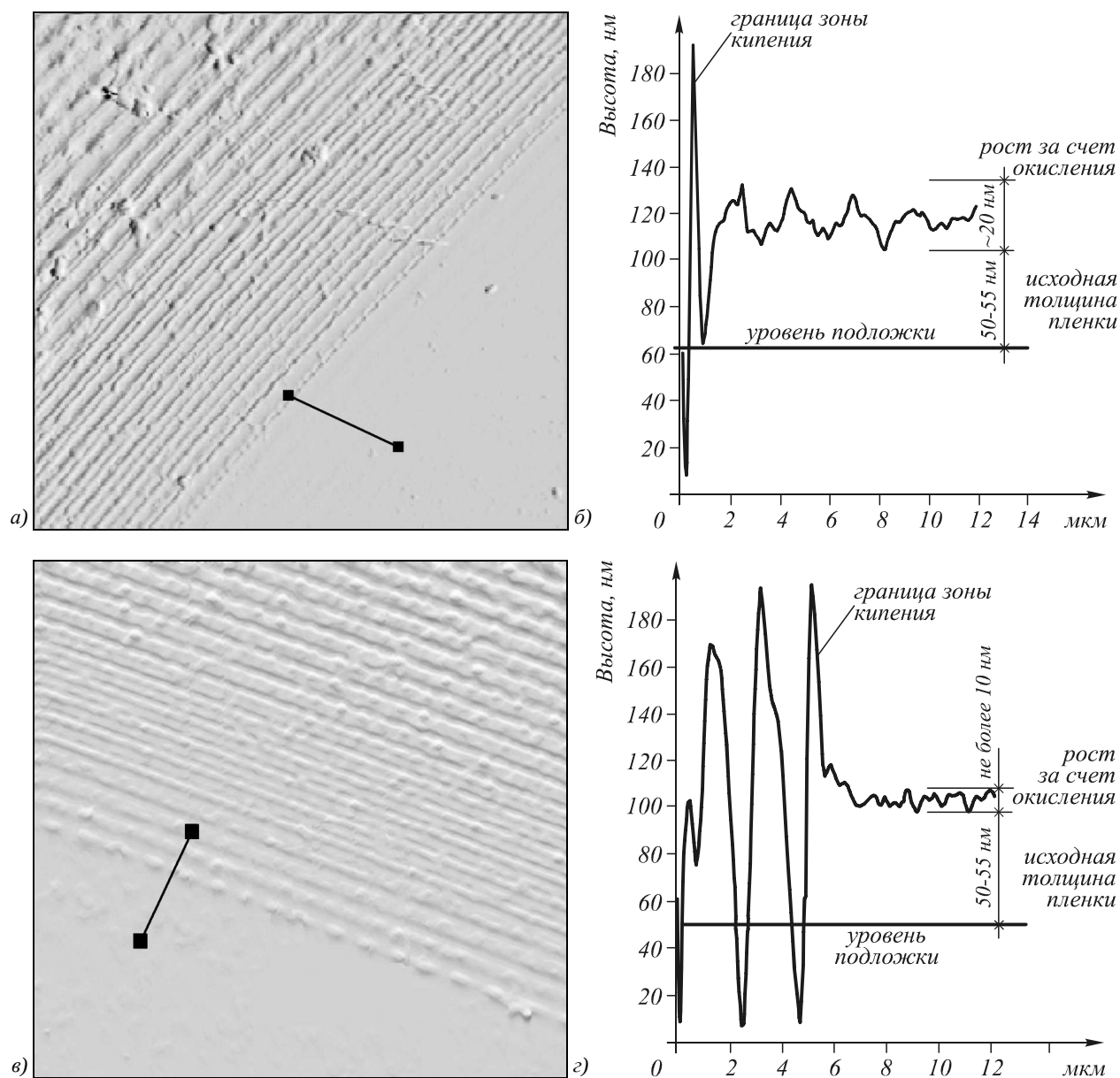


Рис. 6. Результаты СЗМ исследования поверхностей пленок хрома после нанесения тестовой структуры, но до химического травления. Шкала на оси абсцисс по длине соответствует отметке на СЗМ изображении. Квазиаморфная пленка (а, б), пленка с размером кристаллита 23 нм (в, г)

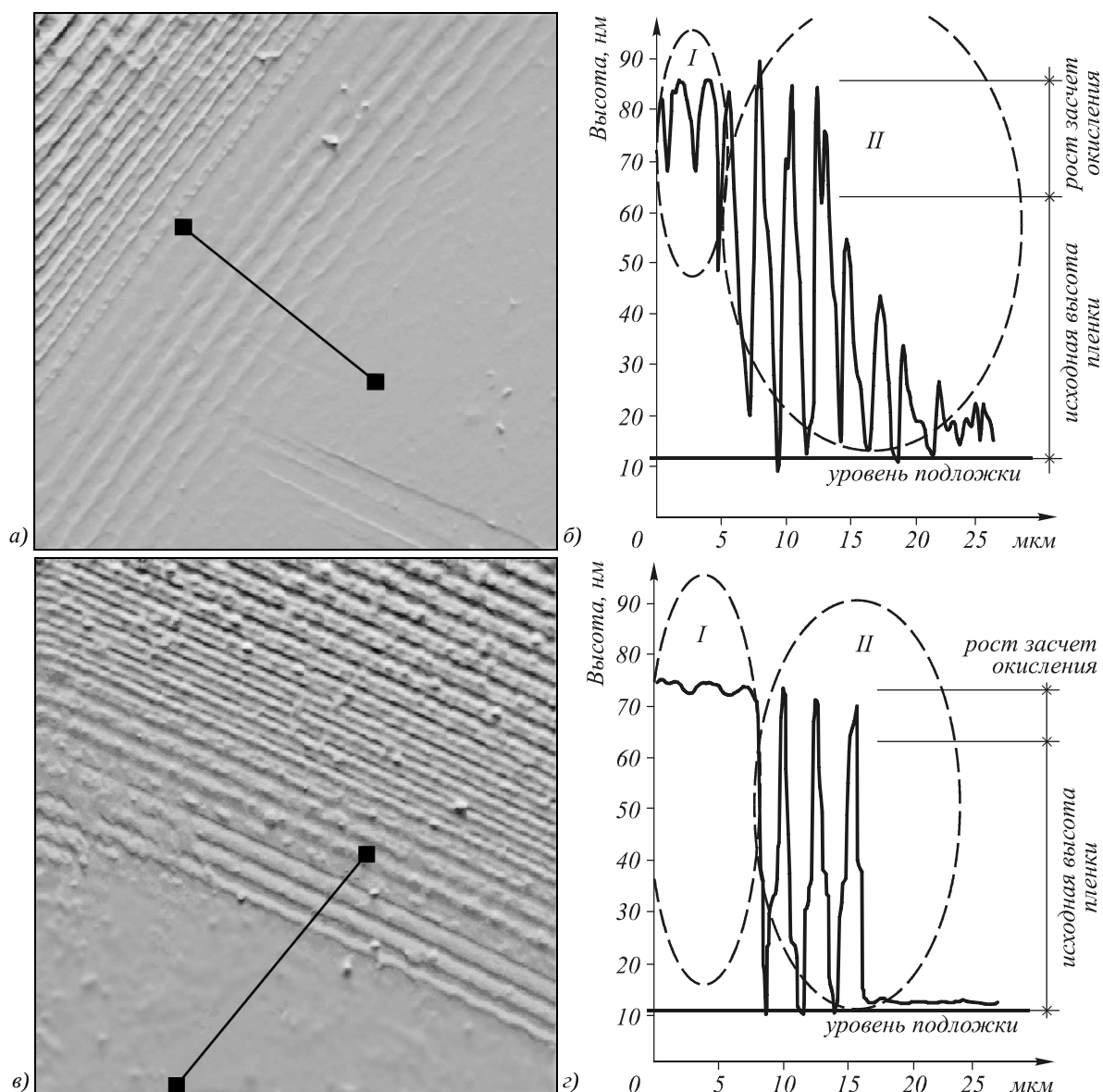


Рис. 7. Результаты СЗМ исследования поверхностей пленок хрома после нанесения тестовой структуры и химического травления. Шкала на оси абсцисс по длине соответствует отметке на СЗМ изображении. Квазиаморфная пленка (а,б), пленка с размером кристаллита 23 нм (в,з)

Для всех подложек (рис. 6,7) характерно наличие трех областей, описанных в [4]. В первой области активно идут процессы плавления металла и, возможно, стеклянной подложки, сопровождаемые появлением «брустверов» из расплавленного хрома и появлением микрорельефа, по высоте значительно превышающего исходную пленку хрома. Во второй области плавление и испарение металла прекращается и происходит непосредственно термохимическое окисление. В третьей области энергии лазерного излучения недостаточно для активации процесса окисления и его не происходит.

По результатам СЗМ, после обработки лазерным излучением образцы с наибольшим и наименьшим (квазиаморфная пленка) размером кристаллита отличаются следующим:

1. Для образца с квазиаморфной пленкой количество треков с видимыми следами окисления (высо-

та более 5 нм) составило 5-6. В то время как для пленки с наибольшим характерным размером кристаллита количество таких треков составило 2-3.

2. Максимальная высота полученного после лазерной обработки рельефа составила для квазиаморфной пленки 20 – 25 нм, для наиболее кристаллической пленки – 5 – 10 нм.

После химического травления в области термохимического окисления для квазиаморфной пленки характерно наличие ряда уменьшающихся по высоте колец колоколообразного профиля (рис. 7а,б). На пленке с наибольшим размером кристаллитов заметно всего три трека с практически одинаковой высотой (≈ 60 нм), относительно резким краем и резкой зависимостью ширины от мощности лазерного излучения (рис. 7в,з).

В первой зоне (рис. 7) происходит слияние соседних треков (зоны окисления больше полупериода

структуры), высота примерно одинакова, так как окислен весь доступный материал. Во второй области для квазиаморфной пленки (рис. 7а,б) происходит разделение отдельных треков и постепенное уменьшение их высоты, что говорит о том, что при уменьшении мощности лазерного излучения зона окисления сохраняется вблизи границы хром-стекло.

На образце с наибольшим размером кристаллитов (рис. 7в,г) также присутствует зона слияния соседних колец, аналогичная с полученной в квазиаморфной пленке. Однако в зоне 2 СЗМ выявляет существенное различие между контрольными образцами. В отличие от квазиаморфной пленки, на образце с наибольшим размером кристаллитов в зоне 2 отсутствует плавный переход от максимальных высот к уровню подложки, а также плавное разделение колец при уменьшении мощности записи.

3. Анализ результатов численных и натурных экспериментов

Отличия в результатах лазерной обработки квазиаморфной пленки и пленки с наибольшим характерным размером кристаллитов, по мнению авторов, можно объяснить тем, что при лазерной обработке окисляются только границы кристаллитов на глубину в единицы нанометров.

Результаты СЗМ, полученные после химического травления, можно объяснить, приняв, что в результате химического травления кристаллиты с частично окисленными границами полностью стравливаются. Тогда при большом размере кристаллитов (1-2 кристаллита на толщине пленки) должна будет наблюдаться резкая граница между зоной слияния колец и их разделения, высота колец будет определяться размером кристаллита и оставаться постоянной, что и наблюдается в эксперименте.

Из представленных экспериментальных данных и результатов численного моделирования можно сделать вывод о следующем механизме влияния кристалличности пленки хрома на процессы окисления, стимулированного лазерным излучением. Окисление идет по границам кристаллитов, а не по всему объему пленки. В случае сравнительно больших, относительно толщины пленки хрома, кристаллитов окисление идет по схеме, показанной на рис. 8 (при малой мощности излучения - 8а, при большой - 8б). Как видно из рисунка 8, в результате получается достаточно отчетливый край профиля окисления, зависящий, однако, от геометрии кристаллитов, что чаще всего не позволяет достигнуть высокого качества записи. Следует отметить, что кристаллиты, границы которых окислены частично, полностью стравливаются при химическом травлении.

В случае, если характерный размер кристаллитов значительно меньше толщины пленки хрома, окисление идет по схеме, представленной на рис. 9 (при малой мощности излучения - 9а, при большой - 9б). В этом случае в результате окисления получается

профиль, практически повторяющий изотерму $T_{кр}$, где $T_{кр}$ соответствует энергии активации элементарного акта окисления атома хрома.

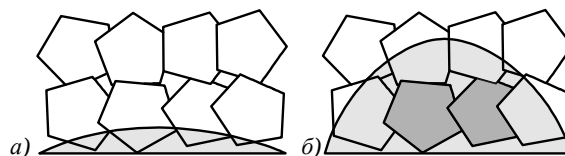


Рис. 8. Схема локального термохимического окисления под действием лазерного излучения, большие кристаллиты (≈ 25 нм). Темным условно показана область с достаточным нагревом для активации химической реакции. Черным показаны кристаллиты, которые останутся после химического травления (с полностью окисленными границами). Масштаб не соблюден

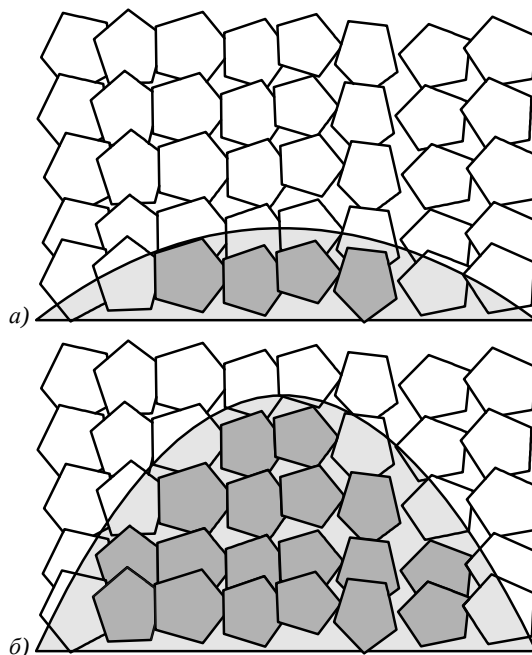


Рис. 9. Схема локального термохимического окисления под действием лазерного излучения, маленькие кристаллиты (≈ 5 нм). Темным условно показана область с достаточным нагревом для активации химической реакции. Черным показаны кристаллиты, которые останутся после химического травления (с полностью окисленными границами). Масштаб не соблюден

Таким образом, структуры с наименьшим размером могут быть записаны при использовании квазиаморфных пленок с толщиной не более 50 нм. Экспериментальные результаты, полученные при записи тестовых структур, подтверждают этот вывод: при диаметре пятна лазерного излучения $d \approx 0,8$ мкм на квазиаморфной пленке было записано кольцо шириной $\approx 0,5$ мкм (рис. 10).

Следует отметить, что вследствие термохимического механизма окисления пленки принципиально возможна запись структур с размерами меньшими длины волны экспонирующего излучения. Полученные при исследовании квазиаморфных пленок результаты хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными [4], которые, однако, не

имели до сих пор достаточного теоретического обоснования.

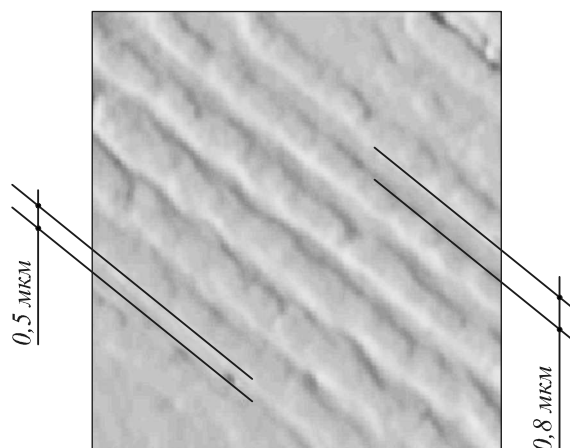


Рис.10. Тестовая структура с размером меньше диаметра лазерного пятна ($d=0,8$ мкм)

Выводы

В ходе проделанной работы были получены следующие основные результаты:

1. Предложена и экспериментально подтверждена новая модель термохимического окисления пленок хрома толщиной 20-150 нм под действием лазерного излучения, учитывающая неоднородность пленки хрома.
2. Впервые установлено, что основное влияние на профиль полученного микрорельефа оказывает окисление границ кристаллитов, а не объема материала.
3. Впервые теоретически обоснована перспективность использования квазиаморфных пленок хрома для увеличения разрешающей способности, в т.ч. для записи структур с характерным размером меньше диаметра записывающего пятна.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ НШ-7414.2010.9).

Литература

1. Волков, А.В. Формирование микрорельефа с использованием халькогенидных стеклообразных полупроводников/ А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Ю. Моисеев // Компьютерная оптика – 2002. - № 24. - С.74-77.
2. Корольков, В.П. Изготовление высокоэффективных ДОЭ с помощью плутоновых фотошаблонов на основе LDW-стекол / В.П. Корольков, А.И. Малышев, Н.Г. Никитин, А.Г. Полещук, А.А. Харисов, В.В. Черкашин, Ву Чак // Компьютерная оптика. – 1998. – №18. – С. 121-127.
3. Вейко, В.П. Структурно-фазовая модификация стеклокерамических материалов под действием излучения CO_2 -лазера / В.П. Вейко, Г.К. Костюк, Н.В. Никонов, Е.Б. Яковлев // Известия РАН. Серия физическая. – 2008. – Т. 72, - № 2. – С. 184-188.
4. Полещук, А.Г. Дифракционные оптические элементы: методы синтеза и применение/ А.Г. Полещук, диссертация на соискание степени доктора технических наук – Новосибирск, 2003.

5. Никитин, В.Г. Исследование кинетики процессов круговой лазерной записи в пленках хрома при изготовлении дифракционных оптических элементов и контроль их эффективности / В.Г. Никитин: диссертация на соискание степени кандидата технических наук – Новосибирск, 2007.
6. Poleshchuk, A.G. Laser writing systems and technologies for fabrication of binary and continuous-relief diffractive optical elements / A.G. Poleshchuk, V. P. Korolkov // Intl. Conf. on Lasers, Applications, and Technologies 2007: Laser-assisted Micro- and Nanotechnologies, Proc. of SPIE. -2007. -Vol. 6732, 67320X.
7. Казанский, Н.Л. Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики/ Н.Л. Казанский// Компьютерная оптика. -2006. - № 29. - С. 58-77.
8. Кирьянов, А.В. Особенности применения технологии записи скрытых изображений в пленках хрома при синтезе прецизионных углоизмерительных структур/ А.В. Кирьянов, В.Г. Никитин // Автометрия. – 2009. – № 1. – С. 109-117.
9. Либенсон, М.Н. Лазерно-индуцированные оптические и термические процессы в конденсированных средах и их взаимовлияние / М.Н. Либенсон.– СПб.: Наука, 2007. – 423 с.
10. Миркин, Л.И. Физические основы обработки материалов лучами лазера – М.: Изд. МГУ, 1975. – 382 с.
11. Ажажа, В.М. Особенности рафинирования аллотермического хрома / В.М. Ажажа, В.Д. Вирич, Г.П. Ковтун, А.П. Свиноаренко, В.М. Шулаев, А.П. Щербань // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – 2006. – № 1(15). – С. 23-25.
12. Агафонов, А.Н. Разработка физических принципов и алгоритмов компьютерного моделирования методами вероятностного клеточного автомата базовых процессов формирования микроструктур / А.Н. Агафонов, А.В. Волков, А.Г. Саноян, С.Б. Коныгин // Вестник СамГТУ. – 2007. – №1. – С. 99-107.
13. Агафонов, А.Н. Моделирование процесса термохимического окисления тонких пленок хрома, стимулированного лазерным излучением / А.Н. Агафонов// Харьковская нанотехнологическая ассамблея - 2007. – Харьков: ННЦ «ХФТИ», ИПП «Контраст», 2007. – С. 262.
14. Chopard, B. Cellular Automata Modeling of Physical Systems / B. Chopard, M. Droz – Cambridge University Press, Collection Al'ea, 1998. – 341 p.
15. Смитлз, К. Дж. Металлы / К. Дж. Смитлз; пер. с англ. – М.: Металлургия, 1980. – 447 с.
16. Никольский, Б.П. Справочник химика / Б.П. Никольский [и др.] – М.: Химия, 1966. – Т. 3. – 1004 с.
17. Файнман, Р., Лейтон, Р., Сендс, М. Файнмановские лекции по физике – М.: Мир, 1977. – Т. 7. – 259 с.
18. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред Т 8. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.– М.: Физматлит, 2003. — 656 с.
19. Чопра, К.Л. Электрические явления в тонких пленках – М.: Мир, 1972. – 432 с.
20. Боуэн, Д.К. Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография / Д.К. Боуэн, Б.К. Таннер – СПб.: Наука, 2002. – 274 с.

References

1. Volkov, A.V. Microrelief fabrication using glasslike chalcogenide semiconductor/ A.V. Volkov, N.L. Kazansky, O.Y. Moiseev// Computer Optics. –2002. – № 24. – P. 74-77. – (in Russian).

2. **Korolkov, V.P.** Fabrication of high-efficiency DOEs by halftone pattern, based on LDW-glass / V.P. Korolkov, A.I. Malyshev, N.G. Nikitin, A.G. Poleschuk, A.A. Khari-
sov, V.V. Tcherkashin, C. Wu // Computer Optics. –1998. – № 18. – P. 121-127. – (in Russian).
3. **Veiko, V.P.** Structure and phase modification glassce-
ramics by CO₂ laser radiation / V.P. Veiko, G. K.
Kostyuk, N.V. Nikonov, E.B. Yakovlev // Proc. RAS.
Physics series. – 2008. – V. 72. -N 2. – P. 184-188. –
(in Russian).
4. **Poleschuk, A.G.** DOE: methods of synthesis and applica-
tions / A.G. Poleschuk: doctorate thesis – Novosibirsk,
2003. – (in Russian).
5. **Nikitin, N.G.** Kinetics of circle laser writing in chrome
films when making DOE and them effectiveness control /
N.G. Nikitin, candidates dissertation – Novosibirsk, 2007.
– (in Russian)
6. **Poleschuk, A.G.** Laser writing systems and technologies
for fabrication of binary and continuous-relief diffractive
optical elements /A.G. Poleschuk, V. P. Korolkov //Intl.
Conf. on Lasers, Applications, and Technologies 2007:
Laser-assisted Micro- and Nanotechnologies, Proc. of
SPIE -2007. -Vol. 6732, 67320X.
7. **Kazansky N.L.** Research complex for problems of com-
puter optics/ N.L. Kazansky //Computer Optics. –2006. –
№ 29. – P. 58-77. – (in Russian).
8. **Kiryanov, A.V., Nikitin, V.G.** Feature application of
writing latent images in the chrome films technology
when precision angle-measuring structures synthesis //
Avtometrija. – 2009. – № 1. – P. 109-117. – (in Rus-
sian).
9. **Libenson, M.N.** Optical and thermal processes in solid
state, stimulated by laser radiation – St. Petersburg: Sci-
ence, 2007. – P. 423 – (in Russian).
10. **Mirkin, L.I.** Physics of processing matter by laser beams
– Moscow: MSU, 1975. – 382 pp. – (in Russian).
11. **Ajaja, V.M.** Specifics of aluminothermic chrome refining /
V.M. Ajaja, V.D. Virich, G.P. Kovtun, A.P. Svinarenko,
V.M. Shulaev, A.P.Scherban // Questions of atomic science
and technology. Series: Vacuum, pure materials and
superconductors – 2006. – №1(15). – P. 23-25. – (in Russian).
12. **Agafonov, A.N.** Development of physical principals and
algorithms for computer simulation of microstructure for-
mation basic processes by probability cellular automata /
A.N. Agafonov, A.V. Volkov, A.G. Sanoyan, S.B. Koni-
gin // Bulletin of SamSTU (Vestnik SamGTU). – 2007. –
№1 – P. 99-107. – (in Russian).
13. **Agafonov, A.N.** Modelling thermochemical of thin
chrome films, stimulated by laser radiation. Kharkov na-
notechnology assembly - 2007. – Kharkov NNC «KPTI»,
2007. – P. 262. – (in Russian).
14. **Chopard, B., Droz, M.** Cellular Automata Modeling of
Physical Systems. – Cambridge University Press, Collec-
tion Al'ea, 1998. – 341 pp.
15. **Smitz, J.** Metals (Handbook) – Moscow: Metallurgiya,
1980. – P.447 – (in Russian).
16. **Nickolskiy, B.P.** Handbook of chemistry // Moscow:
Chemistry, 1966. – Part. 3. – 1004 pp. – (in Russian).
17. **Feynman, R., Leiton, R., Sends, M.** The Feynman Lec-
tures on Physics // Moscow: Mir, 1977. – Part. 7. – P.259
– (in Russian).
18. **Landau, L., Lifshitz, E.** Theoretical physics. Electrody-
namics of continuous media – Moscow: Phismatlit, 2003.
– Part. 8. – P.656 – (in Russian).
19. **Chopra, K.** Electric phenomena in thin films – Moscow:
Mir, 1972. – 432 pp. – (in Russian).
20. **Bowen D., Tanner B.** X-Ray metrology // St. Petersburg.:
Science, 2002. – P. 274– (in Russian).

ANALYSIS OF DEPENDENCE OF LOCAL THERMOCHEMICAL OXIDATION TECHNOLOGY RESOLUTION FROM PHOTSENSITIVE CHROME FILM STRUCTURE PARAMETERS

*Andrey Nikolaevich Agafonov¹ (assistant of nanotechnology department, e-mail:
andr_agafonov@mail.ru),*

Oleg Yuryevich Moiseev² (senior scientist, e-mail: moiseev@smr.ru),

Aleksandr Aleksandrovich Korlyukov³ (researcher, e-mail: alex@xrlab.ineos.ac.ru)

¹Samara State Aerospace University,

²Image Processing Systems Institute of the RAS,

³A.N.Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds RAS

Abstract

The present paper is devoted to investigation of influence of thin chrome films microstructure to kinetics of thermochemical oxidation, stimulated by laser radiation. Results of numerical and nature experiments are presented. The principal possibility of laser writing of structure with linear size less then diameter of laser beam is shown.

Key words: chrome, oxidation, structure of film, crystallite, laser writing.

В редакцию поступила 06.11.2009 г.