

07;11;12

## **Особенности фазовых превращений в неоднородных тонких пленках моноокись кремния/хром при импульсном лазерном облучении**

© П.Е. Шепелявый, В.П. Кунец,  
Е.В. Михайловская, И.З. Индутный

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев

Поступило в Редакцию 6 июля 1998 г.

Исследовано поведение неоднородных по составу керметных пленок SiO/Cr под воздействием импульсного лазерного излучения. Показано, что в них имеет место стимулированный излучением эффект поверхностной сегрегации хрома, который может использоваться при оптической записи информации.

Однородные керметные пленки на основе монооксида кремния и хрома (SiO–Cr) хорошо исследованы и широко применяются в микроэлектронике [1] и оптотехнике [2]. Предварительные исследования неоднородных пленок SiO/Cr, в которых компонентный состав непрерывно изменяется по толщине от диэлектрика к металлу, показали, что они также могут представлять серьезный практический интерес. Например, использование таких неоднородных пленок в качестве материала светопоглощающих матриц на экранах цветных кинескопов позволяет улучшить светотехнические и эксплуатационные характеристики [3]. В настоящее время возрастает и научный интерес к пленочным структурам с пространственной неоднородностью состава, в которых проявляются эффекты, не наблюдаемые в однородных пленках того же состава [4].

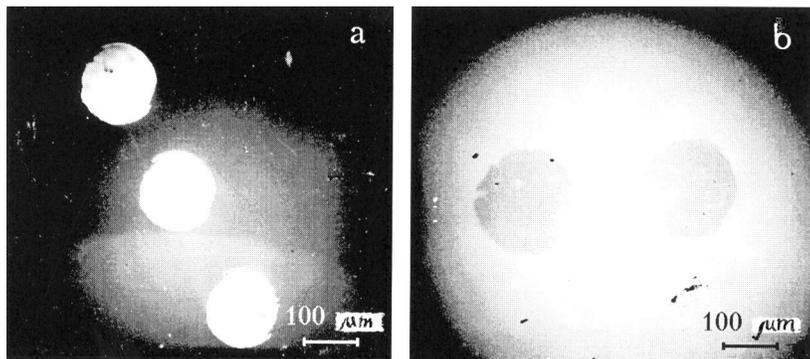
В данной работе описано впервые наблюдаемое авторами явление поверхностной сегрегации металла (Cr) в неоднородных пленках SiO/Cr под воздействием импульсного лазерного излучения.

Исследуемые пленки получались термическим испарением в вакууме  $10^{-3}$  Па смеси мелкодисперсных порошков хрома и монооксида кремния на кварцевые подложки. За счет различия скоростей испарения компонент смеси получались слои с плавно меняющимся составом по

толщине: содержание SiO в напыляемом слое по мере увеличения его толщины уменьшалось, а Cr — увеличивалось. Схема распределения концентрации компонент SiO и Cr по толщине пленки приведена в [3]. После напыления полученные слои обрабатывались 15%-ным водным раствором HCl с целью удаления с их поверхности металлического Cr. Толщины исследуемых пленок составляли 100–200 nm. Их облучение проводилось импульсами излучения света азотного лазера ( $\lambda = 337.1$  nm) длительностью 8 ns и выходной мощностью  $\sim 10^3$  W. Излучение фокусировалось оптической системой до диаметра светового пятна 150–200  $\mu\text{m}$ , что позволяло увеличить плотность мощности излучения до величины  $10^6 - 10^7$  W/cm<sup>2</sup>. Изменение плотности мощности достигалось путем введения в нефокусированную часть светового пучка калиброванных пластинок стеклянных ослабителей.

Воздействие на неоднородную пленку SiO/Cr импульсов нефокусированного излучения не приводило к каким-либо видимым изменениям ее поверхности. При достижении плотности мощности  $\sim 4 \cdot 10^6$  W/cm<sup>2</sup> на поверхности пленки в местах облучения возникали отчетливые пятна с характерным металлическим блеском и резкими краями, примерно соответствующими размерам облучаемой области. Микрофотография этих пятен на поверхности пленки SiO/Cr, полученных при смещении образца в фокальной плоскости фокусирующей системы, приведена на рис. 1, *a*. Высокий контраст в местах засветки свидетельствует о существенном изменении коэффициента отражения слоя. В отличие от слоев SiO/Cr неоднородного состава в слоях SiO–Cr однородного состава, полученных соиспарением SiO и Cr и облученных в аналогичных условиях, наблюдались незначительные изменения поверхности в местах облучения (рис. 1, *b*). При интенсивностях, превышающих  $(6-8) \cdot 10^6$  W/cm<sup>2</sup> имело место термическое разрушение как однородных, так и неоднородных слоев.

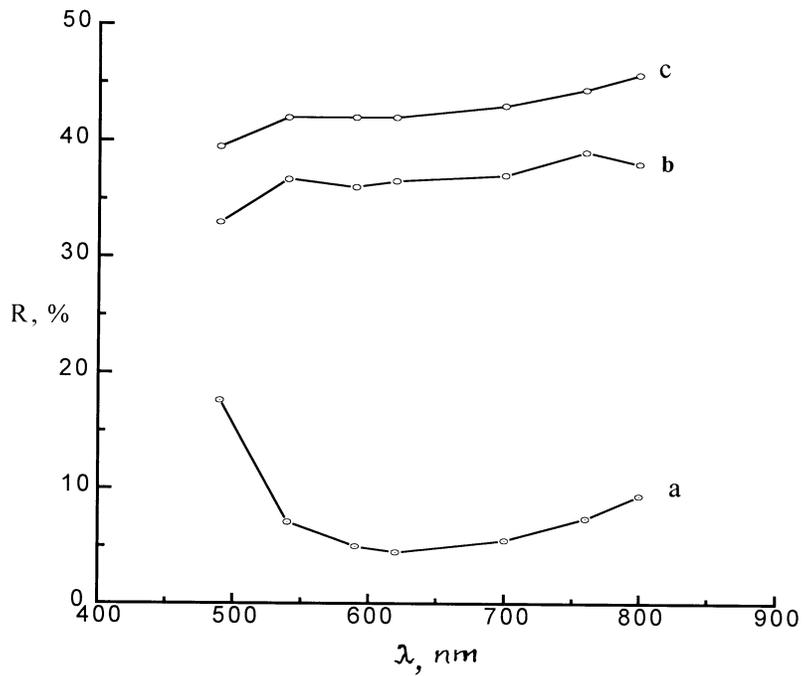
Для количественной оценки наблюдаемых изменений отражения исследуемых пленок SiO/Cr неоднородного состава под действием излучения азотного лазера были проведены измерения их коэффициента отражения  $R$  до и после облучения одиночными импульсами с интенсивностью  $\sim 4 \cdot 10^6$  W/cm<sup>2</sup>. Спектральные зависимости  $R(\lambda)$  приведены на рис. 2. Их сравнение показывает, что после импульсного лазерного воздействия значения  $R$ , измеренные со стороны свободной поверхности пленки SiO/Cr, возрастают почти на порядок. Так, в области 620 nm отражение от необлученной пленки составляет  $\sim 0.04$ , а после



**Рис. 1.** Микрофотография поверхности керметных пленок на основе SiO и Cr неоднородного (а) и однородного (b) состава после облучения их лазерными импульсами с интенсивностью  $4 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$ .

облучения одиночным импульсом — примерно 0.37. Возрастание  $R$  происходит во всем видимом диапазоне спектра и не зависит от того, с какой стороны (подложки или слоя) воздействует лазерный импульс. Существенное возрастание  $R$  указывает на то, что под действием лазерного облучения происходит обогащение свободной поверхности неоднородного слоя SiO/Cr металлической компонентой — Cr. Об этом свидетельствует и визуально наблюдаемая ее металлизация. Облучение со стороны подложки не меняет картину: выделение Cr идет опять же со стороны свободной поверхности. Вывод о поверхностной сегрегации Cr подтверждается близостью значений коэффициентов отражения  $R(\lambda)$  облученной пленки SiO/Cr и пленки чистого Cr (рис. 2, кривые  $b, c$ ). Кроме того, металлизированные участки пленки SiO/Cr удается селективно удалить с помощью известных травителей для хрома.

Воздействие импульсного лазерного излучения большой интенсивности на поглощающую тонкопленочную среду является эффективным средством стимулирования в ней различных физико-химических процессов (структурных превращений, фазовых переходов, поверхностных химических реакций, диффузионных процессов). Характер протекания того или иного процесса в значительной степени определяется особенностями структуры поглощающего слоя. Например, облучение однородных слоев SiO/Cr лазерными импульсами допороговой интенсивности



**Рис. 2.** Спектральная зависимость коэффициента отражения необлученной (*a*) и облученной лазерными импульсами (*b*) структуры SiO/Cr неоднородного состава, спектр отражения напыленного слоя Cr (*c*).

приводит к термостимулированной реакции образования силицидов хрома [5]. В отличие от этого, в исследованных нами неоднородных слоях SiO/Cr, как показано выше, аналогичная лазерная обработка приводит к фазовому выделению металлического хрома на свободной поверхности пленки. По нашему мнению, эта особенность связана с наличием градиента компонентного состава неоднородного слоя, который может приводить к возникновению в нем упругих напряжений. Известно также, что импульсный лазерный нагрев поглощающего слоя сопровождается появлением больших градиентов термоупругих напряжений [6]. В нашем случае созданные облучением термоупругие напряжения уве-

личивают уже существующие в слое напряжения. При достижении определенной критической величины суммарного поля упругих напряжений, которая определяется величиной плотности мощности излучения ( $\sim 4 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$ ), происходит лавинообразный массоперенос хрома в сторону свободной поверхности слоя. Подтверждением этого предположения служит обнаруженный нами эффект выделения хрома на поверхности этих же слоев под воздействием локальной механической нагрузки, например при надавливании их острием металлической иглы. В однородных слоях SiO–Cr подобный эффект не проявляется.

Таким образом, под действием одиночных наносекундных импульсов света с длиной волны 337.1 nm в неоднородных слоях SiO/Cr с плавно меняющимся составом по толщине имеют место фазовые превращения, которые сопровождаются выделением металлической компоненты (Cr) на свободной поверхности пленки. Аналогичное явление имеет место и при приложении локальных механических нагрузок. Наблюдаемая поверхностная сегрегация хрома может быть обусловлена действием полей упругих напряжений, величина которых значительно увеличивается под воздействием импульсного лазерного излучения, локальной механической нагрузки и т.п. Для моделирования наблюдаемых процессов массопереноса в таких слоях необходимы дальнейшие исследования их тепло-, электрофизических и оптических характеристик. Обнаруженный эффект стимулированного лазерным излучением фазовыделения хрома в неоднородных слоях SiO/Cr может найти практическое применение, например для оптической записи информации.

## Список литературы

- [1] *Физика тонких пленок* / Под общ. ред. Г. Хасса, М. Франкомба, Р. Гофмана. М.: Мир, 1978. 359 с.
- [2] *Левитина Э.И., Чекмарев В.М.* // Вакуумные светопоглощающие покрытия в оптическом приборостроении. Л.: Изд-во ГОИ, 1990. 225 с.
- [3] *Шепелявый П.Е., Михайловская Е.В., Индутный И.З.* и др. // Оптическая техника. 1995. № 2(6). С. 16–17.
- [4] *Попович И.И., Лукаш О.В., Миголинец И.М.* и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 20. С. 64–67.
- [5] *Смилга В.И., Фетисова Т.Д., Левинсон Г.Р., Стоянова И.Г.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1974. Т. 38. № 11. С. 2323–2327.
- [6] *Воронов В.П., Гурченко Г.А.* // ФТП. 1990. Т. 24. В. 10. С. 1831–1834.