

УДК 728.38: 621.397 (575.2) (04)

**СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
В ПЛЕНКАХ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОГЕРЕНТНОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

В.П. Макаров – докт. физ.-мат. наук, профессор,
А.А. Кутанов – докт. техн. наук, академик НАН КР,
К.В. Макаров – научн. сотрудник

The complex method establishes structural transformations to films of amorphous silicon under the influence of ultra-violet laser irradiation.

Создание современных оптических приборов связано с совершенствованием их элементной базы. Основу этой базы составляют линзы, объективы, призмы, зеркала и т.д., которые с позиции волновой оптики рассматриваются как пространственные фазовые модуляторы света. Аналогичный эффект фазовой модуляции может быть получен с использованием тонких фазовых пластинок с вариацией оптической толщины, лежащей в пределах длины волны света. Такие пластинки получили название *дифракционных оптических элементов* (ДОЭ), а соответствующая область науки – *дифракционной оптикой* [1, 2]. Такие элементы в отличие от оптических голограмм при освещении монохроматической световой волной дают единственный дифракционный порядок, и весь падающий световой поток идет на создание полезного изображения. ДОЭ могут осуществлять различные функциональные преобразования световых полей, выполнять функции сложного многолинзового объектива, коррекцию сферических или хроматических аберраций и т.д. Использование плоских элементов в оптических схемах, особенно использующих монохроматические лазерные источники света, открывает перспективу создания дешевых, компактных и функционально сложных приборов.

Дифракционная оптика не является конкурентом традиционной оптики. Как и большинство перспективных технологий, она предоставляет новые возможности в улучшении качества изображения, сокращении числа компонентов в оптической системе, снижении цены и веса прибора. Одно из основных ее достоинств – это существенное расширение спектра приложений оптики на области систем массового применения, к которым относятся: соединители оптических линий связи, различные датчики и приборы, головки устройств записи/считывания, принтеры, устройства для чтения товарного кода, радужные знаки защиты денег, товаров и ценных бумаг, лазерные технологические и хирургические инструменты и др.

В последние годы появилось несколько новых направлений дифракционной оптики, которые дадут возможность совершить качественный скачок в управлении светом. Одно из них – создание ДОЭ, работающих в *резонансной области* [3]. В нашей лаборатории лазерных технологий Института физики НАН КР разработана сканирующая лазерная записывающая система (СЛЗС) для высокоскоростного формирования дифракционных элементов. Принцип работы установки СЛЗС основан на принципе двулучевой интерференционной

картины. Контроль за получением дифракционных элементов, полученных на лазерном строителе осуществляли с помощью видеокамеры. Результаты записи наблюдались на видеомониторе. Комплексные исследования полученных дифракционных элементов проводили на оптическом микроскопе МИКРО-200Т-01, оптическом интерферометре и профилометре. Одновременно с записью дифракционных элементов проводились структурные и морфологические исследования получаемых элементов на сканирующих электронных микроскопах BS-301 и JSM-6700 и рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.

Первые эксперименты [4] показали, что энергия импульсов лазера ($<20\text{мкДж}$ продолжительностью в 5нс) – достаточна для плавления и удаления тонких неорганических пленок а-Si и хрома, и органических фоторезистированных пленок. При уменьшении энергии импульсов лазера происходит нагрев локальных участков пленки аморфного кремния. Этот факт экспериментально подтверждает предположение о прямой лазерной записи образцов решеток и голограмм.

Микрофотографии дифракционных элементов (микроголограммы), записанные на пленках аморфного кремния, показаны на рис. 1.

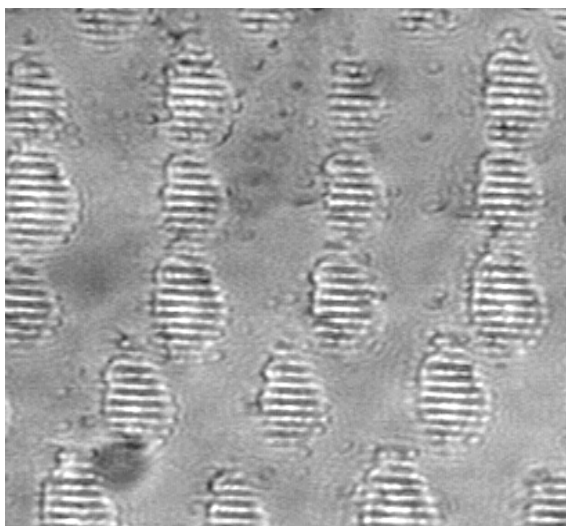


Рис. 1. Фрагмент записи ДЭ на аморфном кремнии. Снимок получен в сканирующем электронном микроскопе BS-300 ($\times 2000$).

Структурные и морфологические исследования полученных структур показывают, что на поверхности пленок аморфного кремния протекают сложные морфологические и структурные изменения. На поверхности пленки аморфного кремния, которая служила в качестве подложки, в результате воздействия лазерного пучка происходит рост ориентированных кристаллических структур, напоминающих столбчатый мультикремний. Рост такого столбчатого мультикремния, очевидно, обусловлен локальным нагревом и мгновенной кристаллизацией аморфного кремния – переход из аморфного состояния в кристаллическое. Эти локальные нагретые и холодные области создаются импульсным воздействием лазерного пучка на пленке аморфного кремния.

Столбчатость структуры, полученной в результате воздействия лазерного пучка, хорошо просматривается при большом увеличении (рис. 2). Монокристалльность столбчатых структур хорошо просматривается при большом увеличении и компьютерной обработке части профиля дифракционного элемента и подтверждается данными структурного анализа.

В результате проведенных исследований установлено, что в пленках аморфного кремния, при записи на них дифракционных элементов, протекают сложные структурные и морфологические изменения, влияющие на параметры и структуру дифракционных элементов.

Данные рентгеноструктурного анализа (рис. 3) показывают, что на свободной от дифракционных элементов поверхности структура пленки состоит из аморфной фазы без следов кристаллизации (рис. 3а). На дифрактограмме, полученной с поверхности, где производилась запись дифракционных элементов, кроме аморфной фазы выявляется фаза кристаллического кремния (рис. 3б). Кристаллографическая плоскость роста соответствует (111). Эта плоскость является характерной плоскостью роста для монокристаллического кремния.

Поэлементный анализ поверхности локальных рельефных образований, полученный на сканирующем электронном микроскопе с микроанализатором, показывает, что кремний является основным элементом этих структур.

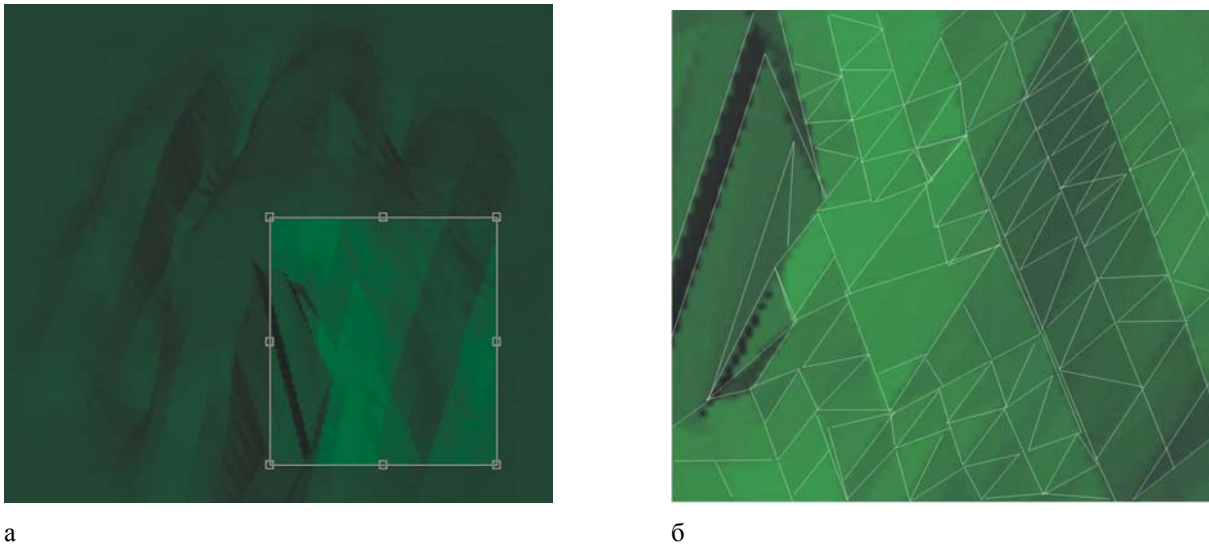


Рис. 2. Часть профиля микрорельефа записи (а), подвергнутого компьютерной обработке (б).

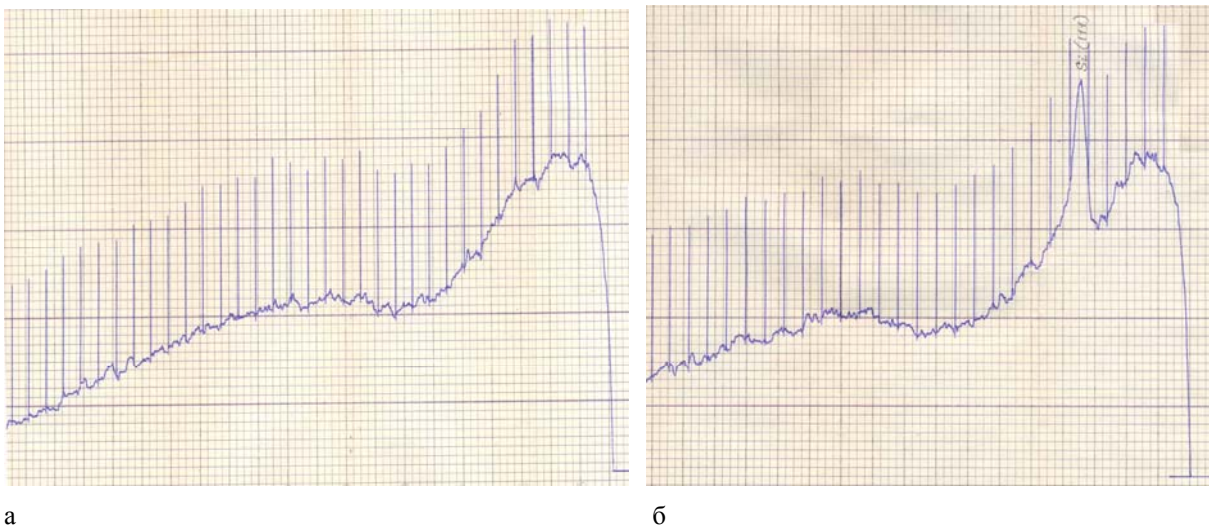


Рис. 3. Дифрактограмма, полученная с поверхности аморфных пленок кремния, свободной от записанных дифракционных элементов (а) и дифрактограмма, полученная с поверхности пленки аморфного кремния, на которой была произведена запись дифракционных элементов (б).

Из результатов структурного и морфологического анализов следует, что в результате локального теплового нагрева исходный аморфный кремний переходит в кристаллический. При таком переходе из неупорядочен-

ной аморфной фазы кремний переходит в упорядоченную кристаллическую структуру. Переход к упорядоченному расположению атомов сопровождается локальным увеличением объема.

Количественные расчеты изменения объема, занимаемого атомами кремния, при переходе из неупорядоченного состояния в упорядоченное – кристаллическое, указывают на увеличение объема почти в два раза. При толщине напыленного слоя 60–100 нм высота рельефных образований будет составлять 120–200 нм, что соответствует измерениям на профилометре.

Литература

1. Методы компьютерной оптики / Под ред. В.А.Сойфера. – М.: Физматлит, 2000. – 688 с.
2. *Turunen J., Wyrowski F.* Diffractive Optics / WILEY-VCH VERLAG GMBH, Germany. – 1997. – 426 p.
3. *Glaser T., Schroter S., Bartelt H., Pohlmann R., Fuchs H.* High efficiency binary phase-transmission-grating // EOS Topical Meeting Digest Series // Diffractive Optics. – 1997. – V. 12. – P. 32.
4. *Макаров К.В.* Создание оптических дифракционных элементов на лазерном построителе // Наука и новые технологии. Спецвыпуск – Бишкек, 2005. – С. 54–60.