

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЯМОЙ ЛАЗЕРНОЙ ЗАПИСИ МИКРОРЕЛЬЕФА НА ДВУХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЕ А-SI/AG**

### ***Нурбек Сыдык уулу***

Институт физико-технических проблем и материаловедения им. академика Ж. Жеенбаева Национальной Академии наук Кыргызской Республики, 720071, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Чуй, 265а, научный сотрудник, лаборатории «Лазерные технологии», тел. (996)312-64-26-77, e-mail: s.nurbek@mail.ru

### ***Аскар Асанбекович Кутанов***

Институт физико-технических проблем и материаловедения им. академика Ж. Жеенбаева Национальной Академии наук Кыргызской Республики, 720071, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Чуй, 265а, доктор технических наук, академик НАН КР, заведующий лабораторией «Лазерные технологии», тел. (996)312-64-26-77, e-mail: askarktnv@gmail.com

### ***Замиргуль Мукамбетовна Казакбаева***

Кыргызско-Турецкий университет Манас, 720042, Кыргызская Республика, г. Бишкек, проспект Мира 56, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры компьютерной инженерии, тел. (996)312-49-27-88, e-mail: zamirgul@gmail.com

В данной работе представлены результаты прямой лазерной записи на двухслойной структуре аморфный кремний/серебро, нанесенной на стеклянную подложку методом магнетронного напыления. Исследованы спектры поглощения пленок а-Si различной толщины и стеклянной подложки. Предложен метод прямой лазерной записи микроструктур сфокусированным излучением одномодового полупроводникового лазера с длиной волны  $\lambda = 405$  нм на двухслойной среде а-Si/Ag со стороны стеклянной подложки. Исследовано формирование микрорельефа при прямой записи импульсами сфокусированного излучения полупроводникового лазера с  $\lambda = 405$  нм на слое а-Si. Оптимизированы параметры двухслойной структуры а-Si/Ag для прямой лазерной записи.

**Ключевые слова:** прямая лазерная запись, двухслойная структура аморфный кремний/серебро, полупроводниковый лазер, микрорельеф

## **STUDY OF DIRECT LASER RECORDING OF MICRO-RELIEF ON A TWO-LAYER A-SI/AG STRUCTURE**

### ***Nurbek Sydyk uulu***

Academic J. Jeenbaev Institute of physics-technical problems National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, 265a, Prospect Chui St., Bishkek, 720071, Kyrgyz Republic, Researcher of Laboratory of Laser Technologies, phone: (996)312-39-20-57, e-mail: s.nurbek@mail.ru

### ***Askar A. Kutanov***

Academic J. Jeenbaev Institute of physics-technical problems National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, 265a, Prospect Chui St., Bishkek, 720071, Kyrgyz Republic, D. Sc., NAS KR Academician, phone: (996)312-39-20-57, e-mail: askarktnv@gmail.com

**Zamirgul M. Kazakbaeva**

Kyrgyz Turkish Manas University, 56, Prospect Mira, Bishkek, 720042, Kyrgyz Republic, Ph. D., Associate Professor of the Department of Computer Engineering, phone: (996)312-49-27-88, e-mail: zamirgul@gmail.com

This paper presents the results of direct laser recording on a two-layer amorphous silicon / silver structure deposited on a glass substrate by magnetron sputtering. The absorption spectra of a-Si films of various thicknesses and a glass substrate are investigated. A method is proposed for direct laser recording of microstructures by focused radiation of a single-mode semiconductor laser with a wavelength of  $\lambda = 405$  nm on a two-layer a-Si / Ag medium from the side of a glass substrate. The formation of the micro relief is studied during direct recording by semiconductor laser pulses with  $\lambda = 405$  nm on the a-Si layer. Parameters of two-layer structure a-Si / Ag for direct laser recording are optimized.

**Keywords:** direct laser recording, two-layer structure amorphous silicon/silver, semiconductor laser, micro relief

### *Введение*

Основой современных методов защиты продукции, товаров, документов и ценных бумаг являются оптические и голографические технологии. Требуется разработка новых методов записи голограмм и микроструктур, материалов, упрощающих технологичность, идентификацию и проверку подлинности. Создание национальных средств защиты документов, ценных бумаг и особо ценных объектов является одной из важных государственных задач, обеспечивающих ее национальную и экономическую безопасность.

Прямая лазерная запись с высоким разрешением на пленках аморфного кремния без мокрой химической обработки представляет интерес для записи микроструктур, дифракционных оптических элементов, dot matrix голограмм [1,2]. Ранее нами были исследованы возможности получения интерференционных фильтров на пленках аморфного кремния и прямой лазерной записи на них [3]. Разработано магнетронное устройство, позволяющее напылять однородные пленки аморфного кремния [4]. Данное магнетронное распылительное устройство позволяет проводить напыление пленочных элементов на различные материалы.

Целью настоящей работы является исследование нового метода прямой лазерной записи с формированием рельефа на двухслойной структуре аморфный кремний/серебро, нанесенной на стеклянную подложку, при воздействии сфокусированным лазерным излучением на слой аморфного кремния со стороны подложки, определение оптимальных параметров двухслойной структуры a-Si/Ag по толщине напыления слоев.

С этой целью для улучшения формирования рельефа лазерной записи на слой аморфного кремния наносился тонкий слой серебра. Как известно, серебро обладает высокими характеристиками теплопроводности и электропроводности, что важно при локальном нагреве аморфного кремния сфокусированным лазерным лучом.

## Двухслойная структура $\alpha$ -Si/Ag, нанесенная на стеклянную подложку

Для исследования прямой лазерной записи микроструктур изготавливались образцы двухслойной структуры  $\alpha$ -Si/Ag магнетронным нанесением при высокочастотном поле. В результате проведенных исследований по получению плёнок  $\alpha$ -Si на магнетронной установке отлажена технология нанесения однородных слоев аморфного кремния и тонких пленок металла на стеклянную подложку для прямой лазерной записи дифракционных оптических элементов. Толщина пленок двухслойной структуры  $\alpha$ -Si/Ag варьировалась в пределах от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

### Поглощение света в тонких пленках $\alpha$ -Si

Для измерения спектров поглощения в тонких пленках  $\alpha$ -Si использован двухлучевой спектрофотометр PYE UNICAM 100. Основные элементы оптической схемы прибора показаны на рис. 1. Она содержит источник света, переключатель лучей, попеременно подающий лучи в два измерительных оптических канала, а также зеркала, направляющие оба луча в фотоприемник. Верхний по схеме канал назовем опорным, а нижний – предметным.

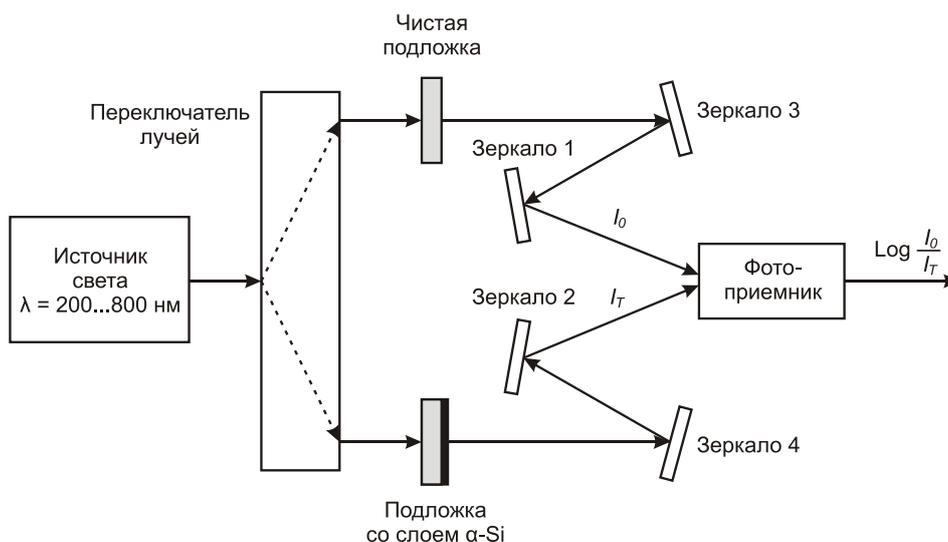


Рис. 1. Схема измерения спектров поглощения материалов

Электронная схема, обрабатывающая сигналы с выхода фотоприемника, вычисляет десятичный логарифм отношения интенсивности света из опорного канала ( $I_0$ ) к интенсивности света из предметного канала ( $I_T$ ):

$$K_T = \log \frac{I_0}{I_T}.$$

Исследуемая стеклянная подложка со слоем  $\alpha$ -Si помещалась в предметный канал. Для того, чтобы из результата измерения вычесть величину поглощения в подложке, в опорный канал помещалась идентичная чистая подложка.

Исследованы образцы с различной толщиной слоя  $\alpha$ -Si. Полученные спектры поглощения показаны на рис. 2.

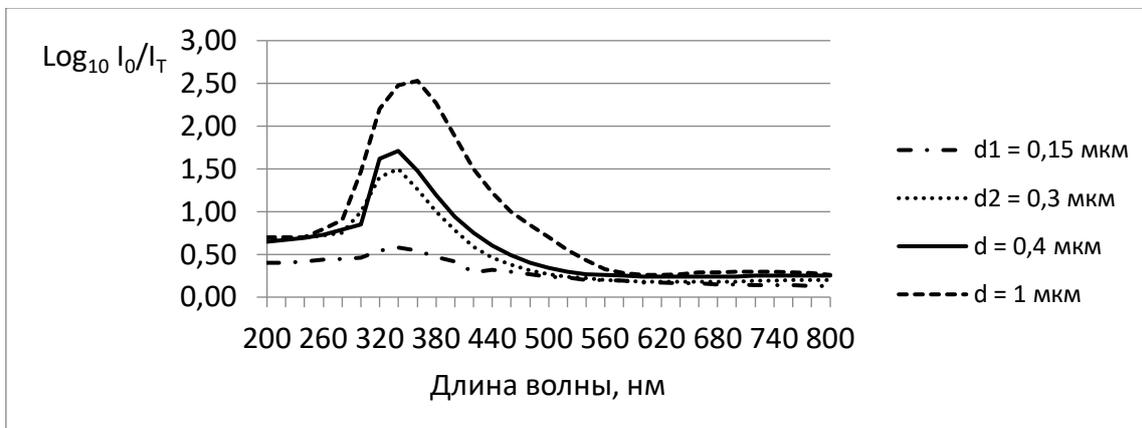


Рис. 2. Спектры поглощения в пленках  $\alpha$ -Si различной толщины

Видно, что максимум поглощения света приходится на область длин волн 340...360 нм. Как следует из графика на рис.2, излучение полупроводникового лазера с длиной волны  $\lambda = 405$  нм, также будет хорошо поглощаться пленкой аморфного кремния с толщиной 1мкм.

### *Спектр поглощения света в стеклянной подложке*

Схема для измерения спектра поглощения стеклянной подложки идентична схеме на рис. 3, с той лишь разницей, что одна чистая подложка помещена в предметный канал спектрофотометра. Толщина подложки составляет 1,35 мм. Спектр поглощения чистой подложки показан на рис. 3.



Рис. 3. Спектр поглощения стеклянной подложки

Видно, что в диапазоне длин волн 360–800 нм поглощение света в подложке практически постоянно и минимально. На основе исследованных спектров поглощения тонких слоев аморфного кремния и стеклянной подложки сделан вывод о возможности прямой лазерной записи на слое a-Si со стороны стеклянной подложки полупроводниковым лазером с  $\lambda = 405$  нм.

### *Прямая лазерная запись на двухслойной структуре a-Si/Ag*

Прямая лазерная запись на двухслойной структуре a-Si/Ag проводилась на двухкоординатной экспериментальной установке [5]. Воздействие на двухслойную пленочную структуру аморфный кремний/серебро, сфокусированным лазерным излучением проводили через стеклянную подложку. Наноразмерный слой серебра был нанесен с целью создания проводящего слоя и возможности создания плазмона, улучшения защиты слоя аморфного кремния от воздействия окружающей среды. При связывании энергии фотона со свободными электронами металла может быть создан субволновой колебательный режим, известный как плазмон.

Для прямой записи на аморфном кремнии использовался одномодовый полупроводниковый лазер с  $\lambda=405$  нм мощностью 120 мВт. Лазерный пучок коллимировался асферической линзой, а затем фокусировался микрообъективом на регистрирующую среду. Глубина фокуса изменялась для записи отдельных фрагментов изображения. Перетяжка формируемого лазерного пучка позволяла сохранять необходимую плотность энергии записи на аморфном кремнии. Длительность лазерных импульсов, их частота и движение координатного стола управлялись компьютером. Для прямой лазерной записи использовалась двухслойная структура a-Si/Ag различной толщины  $\sim 0,5\text{--}2$  мкм.

Результаты лазерной записи микроструктур с формированием рельефа на поверхности двухслойной структуры a-Si/Ag, нанесенной на стеклянную подложку приведены на рис.4.

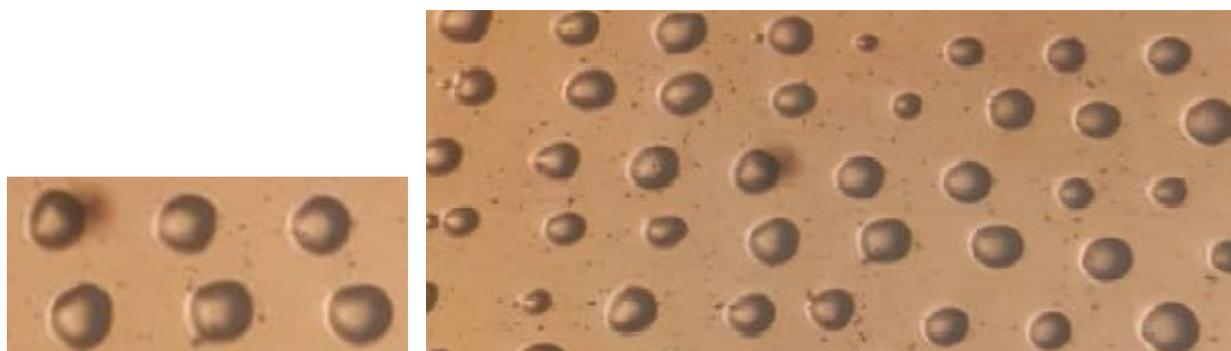


Рис. 4. Фотография микроструктуры сфокусированным лазерным излучением с  $\lambda= 405$  нм на двухслойной структуре a-Si/Ag с размером элементов 30-40 мкм

На рис.5 приведена фотография прямой лазерной записи аббревиатуры ИФ (Институт физики) на структуре a-Si/Ag. Фотографии были сняты на микроскопе (MICRO 200T-01).

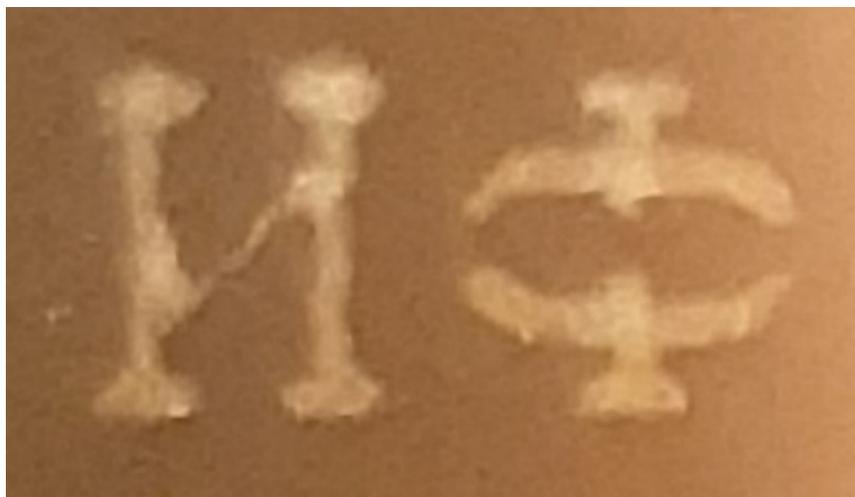


Рис. 5. Фотография записи аббревиатуры ИФ сфокусированным лазерным излучением ( $\lambda = 405$  нм) на двухслойной структуре a-Si/Ag

### *Заключение*

Разработан новый метод прямой лазерной рельефной записи на двухслойной структуре a-Si/Ag посредством ее деформирования за счет локального увеличения объема подслоя аморфного кремния при прямом лазерном воздействии со стороны подложки и переходе среды от аморфного состояния к полукристаллическому. Определены оптимальные параметры двухслойной структуры a-Si/Ag по толщине напыления для прямой лазерной записи. Данный метод представляет интерес для упрощения технологии изготовления мастер матриц для производства радужных голограмм, прямой лазерной записи микроструктур, дифракционных оптических элементов, dot matrix голограмм.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корольков В.П., Чернухин В.П. Оптическая запись на пленках аморфного кремния с субмикронным разрешением // Журнал технической физики – 1989. – Т. 59 – вып. 6. – С.131-133.
2. Poleshchuk A G, Kutanov A *et al* Microstructuring of Optical Surfaces: Technology and Device for Direct Laser Writing of Diffractive Structures *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – 2010. – 46. – P.171–180.
3. Кутанов А.А., Н. Сыдык уулу, Снимщиков И.А., Великасов С.С., Макаров В.П. Спектральные интерференционные фильтры на пленках аморфного кремния и прямая лазерная запись на них // Мир голографии – 2016. – Т. 2, №1. – С. 83-87.

4. Макаров В.П., Великасов С.С., Макаров К.В., Календеров А.Ж., Сыдык уулу Н. Магнетронная напылительная система для получения пленок  $\alpha$ -Si // Труды Международного семинара «Оптика и фотоника», Иссык-Куль, Кыргызстан. – 2012. – С. 126-128.

5. Устройство для записи дифракционных элементов: Патент № 007874 Евраз. патент, G 02 B 5/18 / Полещук А.Г., Кутанов А.А., Бесмельцев В.П., Снимщиков И.А., Опубл. 27.02.2007, Бюл. № 1.

© Н. Сыдык уулу, А. А. Кутанов, З. М. Казакбаева, 2021