

Прямая лазерная запись с формированием рельефа на двухслойной структуре a-Si/Ag

А. А. Кутанов¹, Н. Сыдык уулу¹, И. А. Снимщиков¹, З. М. Казакбаева²

¹ Институт физики имени академика Ж. Ж. Жеенбаева, Национальная академия наук, Бишкек, Киргизская Республика

² Киргизско-Турецкий университет Манас, Бишкек, Киргизская Республика

Представлены результаты прямой лазерной записи на двухслойной структуре аморфный кремний/серебро, нанесенной на стеклянную подложку методом магнетронного напыления. Исследованы спектры поглощения пленок a-Si различной толщины. Предложен метод прямой лазерной записи микроструктур сфокусированным излучением одномодового полупроводникового лазера с длиной волны $\lambda = 405$ нм на двухслойной среде a-Si/Ag со стороны стеклянной подложки. Исследовано формирование микрорельефа при прямой записи импульсами сфокусированного излучения полупроводникового лазера с $\lambda = 405$ нм на аморфном кремнии.

Ключевые слова: прямая лазерная запись, двухслойная структура, аморфный кремний/серебро, пленка аморфного кремния, полупроводниковый лазер.

Цитирование: Кутанов, А. А. Прямая лазерная запись с формированием рельефа на двухслойной структуре a-Si/Ag / А. А. Кутанов, Н. Сыдык уулу, И. А. Снимщиков, З. М. Казакбаева // НОЛОEXPO 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 269–275.

Введение

Прямая лазерная запись на слое аморфного кремния является привлекательной для записи дифракционных структур без мокрой химической обработки, и открывает новые возможности изготовления дифракционных структур с использованием лазерного записывающего устройства [1, 2, 4]. Для этих целей отлажена технология нанесения однородных пленок аморфного кремния различной толщины методом магнетронного нанесения на стеклянную подложку. При локальном воздействии сфокусированным лазерным излучением на слой аморфного кремния короткими импульсами происходит его переход в поликристаллическое состояние с увеличением объема. Применение сканирующих систем лазерной записи дифракционных элементов или голографического принтера [1–2, 5], формирующих дифракционные структуры путем последовательной записи небольших фрагментов или ячеек, привлекательно для получения дифракционных структур, дот-матрикс голограмм, создания микро — и нано структур с помощью лазерного излучения. С помощью разработанного устройства [5] микроструктурирование поверхности осуществляется путем последовательной записи микрорешеток, сформированных интерференцией двух когерентных сфокусированных лазерных пучков и регистрацией в записывающей среде. При взаимодействии сфокусированного лазерного луча на слой a-Si происходит с локальной кристаллизацией и формированием рельефной структуры [2, 6].

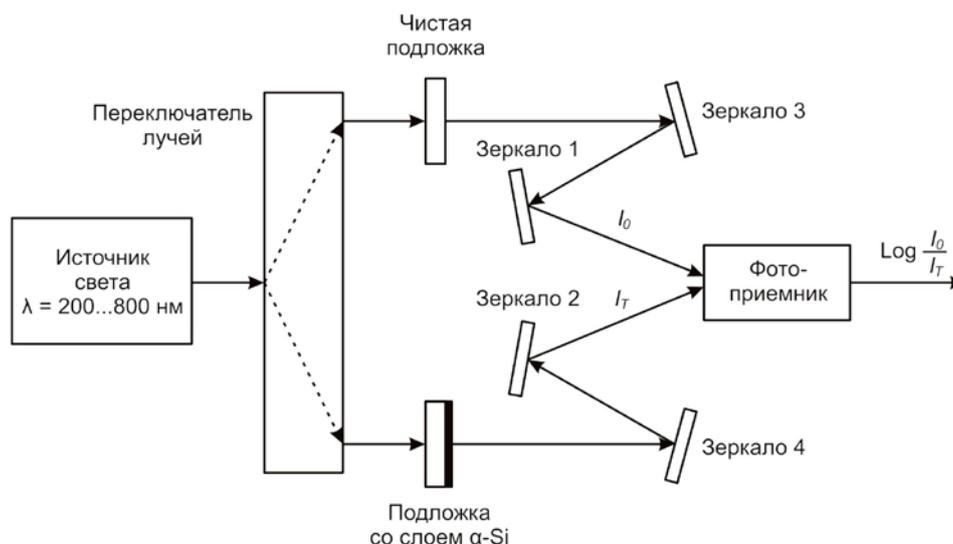


Рис. 1. Схема для измерения спектров поглощения материалов

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование возможностей прямой лазерной записи на двухслойной структуре а-Si/Ag под действием импульсов сфокусированного лазерного излучения с $\lambda = 405$ нм и с $\lambda = 450$ нм. Исследование возможностей использования пленок аморфного кремния в качестве регистрирующей среды для прямой лазерной записи и создания системы лазерной записи мастер-матриц для производства дифракционных структур и радужных голограмм для защиты товаров от копирования.

1. Поглощение света в тонких пленках а-Si

Для измерения спектров поглощения в тонких пленках а-Si использован двухлучевой спектрофотометр PVE UNICAM 100. Основные элементы оптической схемы прибора показаны на рис. 1. Она содержит источник света, перестраиваемый в диапазоне длин волн $\lambda = 200\text{--}800$ нм, переключатель лучей, попеременно подающие лучи в двух измерительных оптических каналах, а также зеркала, направляющие оба луча в фотоприемник. Верхний по схеме канал назовем опорным, а нижний — предметным.

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).

$$K_T = \lg \frac{I_0}{I_T}. \quad (1)$$

Исследуемая стеклянная подложка со слоем а-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 а-Si. Полученные спектры поглощения показаны на рис. 2.

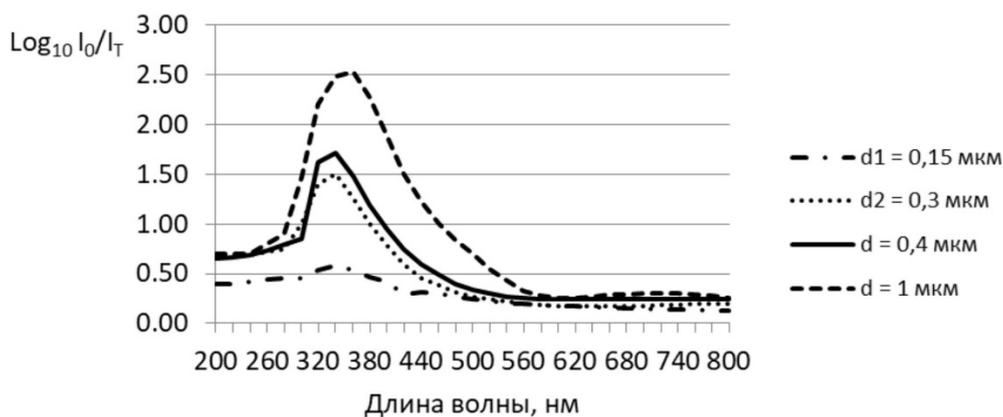


Рис. 2. Спектры поглощения в пленках а-Si различной толщины

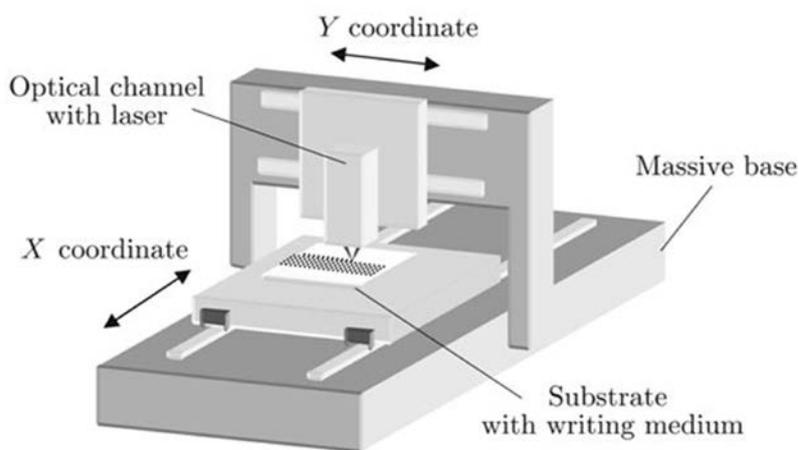


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

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 1 мкм.

2. Прямая лазерная запись на пленках аморфного кремния

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3. 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. Перетяжка формируемого лазерного пучка позволяла сохранять необходимую плотность энергии записи на аморфном кремнии для записи отдельных фрагментов изображения. Компьютер контролировал длительность лазерных импульсов, их частоту, и движение координатного стола. Для прямой лазерной записи использовались пленки аморфного кремния различной толщины $\approx 0,2$ –1 мкм.

Лазерный луч коллимировался с помощью асферической линзы после лазера, а затем он фокусировался микрообъективом на слой аморфного кремния и производилась запись микроструктур. Частота лазерных импульсов составляла 800 Гц. На рис. 4 приведена фотография рельефной записи микроструктур, снятая на оптическом микроскопе MICRO 200T-01.

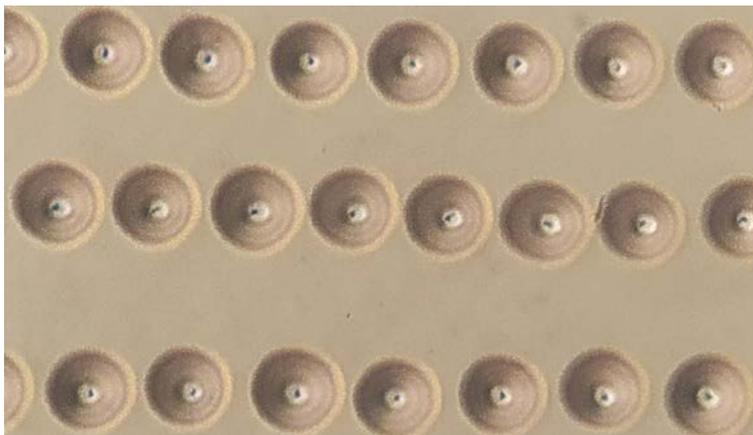


Рис. 4. Фотография рельефа записи сфокусированным лазерным излучением с $\lambda = 405$ нм на слое аморфного кремния снятая на оптическом микроскопе при увеличении $200\times$

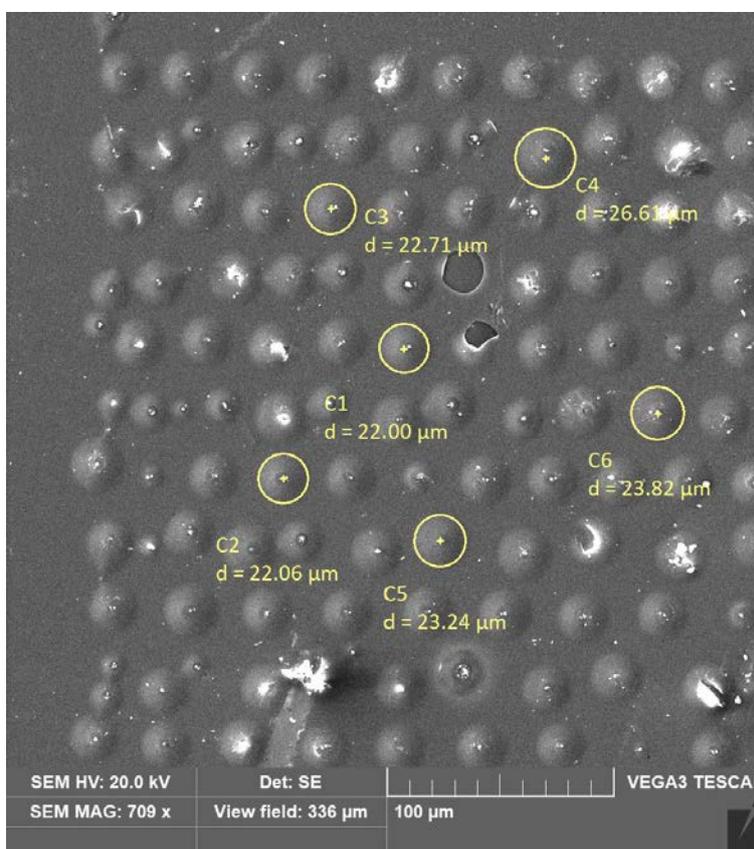


Рис. 5. Фотография измерения диаметра записанных на a-Si на электронном микроскопе

При воздействии сфокусированным лазерным излучением на слой a-Si происходит локальное изменение пропускания и коэффициента преломления среды, формирование рельефа. Записанные на аморфном кремнии микроструктуры исследовались, также, на электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMH. Измерение записанного рельефа показывает, что при взаимодействии лазерного излучения на пленку аморфного кремния формируется рельеф высотой порядка 100 нм.

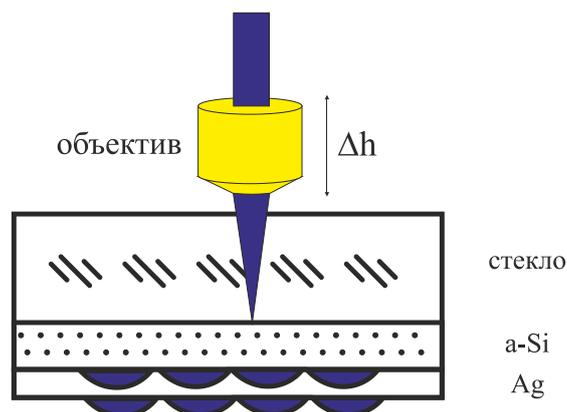


Рис. 6. Прямая лазерная запись на двухслойной структуре a-Si/Ag со стороны стеклянной подложки

Образцы с записью лазерным излучением были исследованы на электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMN в Киргизско-Российском Славянском университете. Диаметр записанных микроструктур составил 22–26 мкм, это видно на рис. 5.

3. Прямая лазерная запись на двухслойной структуре аморфный кремний/серебро

Воздействие на двухслойную пленочную структуру аморфный кремний/серебро сфокусированным лазерным излучением проводили через стеклянную подложку. Нано размерный слой серебра был нанесен с целью создания проводящего слоя и возможности создания плазмона. При связывании энергии фотона со свободными электронами металла создается субволновой колебательный режим, известный как плазмон.

Лазерное воздействие проводили со стороны стеклянной подложки излучением полупроводникового лазера с длиной волны $\lambda = 405$ нм, с фокусировкой на слое аморфного кремния. Диаметр сфокусированного пятна зависит от длины волны лазерного излучения и числовой апертуры объектива NA .

$$d = \lambda/NA \quad (2)$$

Так как под действием лазера происходит фазовый переход от аморфного к поликристаллическому состоянию среды, при локальном увеличении объема кремния и продавливании пленки серебра. Прямая лазерная запись на двухслойной структуре a-Si/Ag со стороны стеклянной подложки показана на рис. 6.

Результаты прямой лазерной записи микроструктур с формированием рельефа на поверхности на двухслойной структуры a-Si/Ag, нанесенной на стеклянную подложку приведены на рис. 7. Фотографии были сняты на микроскопе (MICRO 200T-01).

Также, были проведены эксперименты по прямой лазерной записи полупроводниковым лазером с $\lambda = 450$ нм мощностью 1 Вт при длительности импульсов 230 мксек для записи текста.

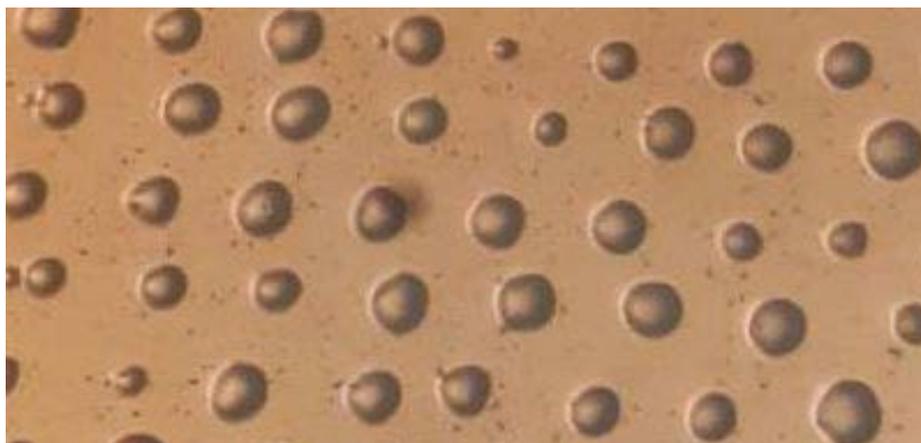


Рис. 7. Фотография микроструктуры сфокусированным лазерным излучением с $\lambda = 405$ нм на двухслойной структуре a-Si/Ag с размером элементов 30–40 мкм

Благодаря высокому разрешению записи с изменением показателя преломления и отсутствию мокрой химической обработки, прямая лазерная запись на пленках аморфного кремния является привлекательной для записи дифракционных структур, создания микро- и наноструктур с помощью сфокусированного лазерного излучения.

Заключение

Предложен 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. Данный метод представляет интерес для упрощения технологии изготовления мастер матриц для производства радужных голограмм.

Это делает привлекательным использование прямой лазерной записи на аморфном кремнии для приложений, обеспечивающих защиту от копирования. Прямая лазерная запись на двухслойной структуре a-Si/Ag одномодовым полупроводниковым лазером $\lambda = 405$ нм позволяет получать рельефную запись микроструктур. Разработанная технология прямой записи на пленках аморфного кремния могут быть использованы для записи дифракционных и голограммных структур.

Список источников

- [1] **Poleshchuk, A. G.** [Microstructuring of optical surfaces: Technology and device for direct laser writing of diffractive structures](#) / A. G. Poleshchuk, A. A. Kutanov, V. P. Bessmeltsev, V. P. Korolkov, R. V. Shimanskii, A. I. Malyshev, A. E. Matochkin, N. V. Goloshevskii, K. V. Makarov, V. P. Makarov, I. A. Snimshchikov, N. Sydyk uulu // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. — 2010. — Vol. 46. — P. 171–180.
- [2] **Кутанов, А. А.** Исследование лазерной записи на пленках аморфного кремния для интерференционной литографии / А. А. Кутанов, И. А. Снимщиков, Н. Сыдык уулу // Журнал Доклады НАН КР. — 2015. — № 2. — С. 19–26.

- [3] **Корольков, В. П.** Оптическая запись на пленках аморфного кремния с субмикронным разрешением / В. П. Корольков, В. П. Чернухин // Журнал технической физики. — 1989. — Том 59. — № 6. — С. 131–133.
- [4] **Kutanov, A. A.** [Direct Laser Recording on Amorphous Silicon Film](#) // A. A. Kutanov, I. A. Snimshikov, N. Sydyk uulu // Physics Procedia. — 2015. — Vol. 73. — P. 82–86.
- [5] **Патент № 07 874 Евраз.** Устройство для записи дифракционных элементов / А. Г. Полещук, А. А. Кутанов, В. П. Бесмельцев, И. А. Снимшиков. — Оpubл. 2007.
- [6] **Kutanov, A. A.** [Interference filter with amorphous silicon layer and direct laser recording on it](#) / A. A. Kutanov, N. Sydyk uulu, I. A. Snimshikov, Z. M. Kazakbaeva // Journal of Physics: Conference Series. — 2016. — Vol. 737. — № 1. — P. 012025. — 4 p.