

### 13. Трехмерная лазерная запись на структуре аморфный кремний/алюминий интерференционного фильтра

А. А. Кутанов<sup>1</sup>, Н. Сыдык уулу<sup>1</sup>, И. А. Снимщиков<sup>1</sup>, З. М. Казакбаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт физики им. академика Ж. Ж. Жеенбаева Национальной Академии наук, Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>2</sup> Кыргызско-Турецкий университет Манас, Бишкек, Кыргызская Республика

Отлажена технология нанесения однородных пленок аморфного кремния различной толщины методом магнетронного нанесения на предварительно нанесенный тонкий слой алюминия на стеклянную подложку с получением интерференционного фильтра. Представлены результаты трехмерной лазерной записи изображений на структуре аморфный кремний/алюминий интерференционного фильтра сфокусированным излучением одномодового полупроводникового лазера с  $\lambda = 405$  нм. Прямая лазерная запись проводилась на пленки аморфного кремния при изменении глубины фокуса записи в объеме регистрирующей среды. При локальном воздействии сфокусированным излучением на слой аморфного кремния наносекундными импульсами происходит его переход в поликристаллическое состояние с увеличением объема. За счет рассеяния света на лазерно-индуцированных микроструктурах на лазерной записи и различной фазы рассеянных волн визуально можно наблюдать трехмерные сцены. Предложенный способ трехмерной лазерной записи на слое аморфного кремния a-Si привлекателен для создания 3D системы лазерной записи изображений и дот голограмм.

*Ключевые слова:* Трехмерная лазерная запись, пленка аморфного кремния, Blu Ray лазер, Рэлеевское рассеяние, Точечные голограммы, 3D принтер.

*Цитирование:* Кутанов, А. А. Трехмерная лазерная запись на структуре аморфный кремний/алюминий интерференционного фильтра / А. А. Кутанов, Н. Сыдык уулу, И. А. Снимщиков, З. М. Казакбаева // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 73–77.

#### 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]. Один из простых применений дифракционных структур — это антиотражающие покрытия на основе субволновых решеток [3] с периодом около половины длины волны света. 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 наноструктур с помощью лазерного излучения. С помощью разработанного устройства [5] микроструктурирование поверхности осуществляется путем последовательной записи микрорешеток, сформированных

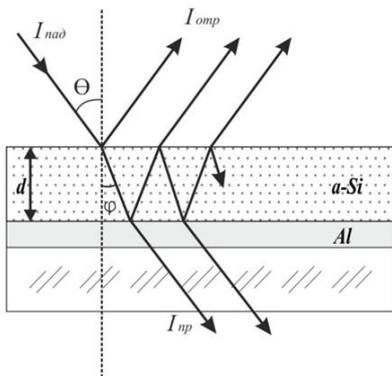


Рис. 1. Структура интерференционного фильтра со слоями a-Si и Al на стеклянной подложке

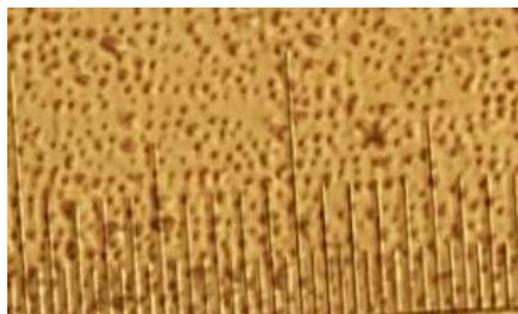


Рис. 2. Фотография микроструктуры записи сфокусированным лазерным излучением с  $\lambda = 405$  нм на двухслойной структуре a-Si/Al интерференционного фильтра в желтой области спектра с размером элементов 5–10 мкм

интерференцией двух когерентных сфокусированных лазерных пучков и регистрацией в записывающей среде.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование возможностей трехмерной лазерной записи в двухслойной структуре пленок a-Si/Al под действием наносекундных импульсов сфокусированного лазерного излучения. Исследование возможностей использования пленок аморфного кремния в качестве трехмерной среды для прямой лазерной записи и создания 3D системы лазерной записи.

### 1. Интерференционные фильтры со слоем a-Si и прямая запись на них Blu Ray лазером

Получены интерференционные спектральные фильтры на пленках аморфного кремния, структура которых приведена на рисунке 1. Толщина пленки аморфного кремния  $d$  определяет центральную длину волны полосы пропускания такого фильтра. Для лучшей визуализации записанных изображений были получены фильтры с полосой пропускания в зелено-желтой области спектра. Интерференционные фильтры на пленках аморфного кремния отражают часть спектра падающего излучения, благодаря явлению многолучевой интерференции в тонких диэлектрических плёнках. Исследована прямая лазерная запись на пленки а- кремния лазерным экспонирующим излучением с длиной волны  $\lambda = 405$  нм (Blu Ray лазера).

Для исследования прямой лазерной записи полупроводниковым лазером на аморфном кремнии использовался одномодовый Mitsubishi 120mW лазер. Лазерный луч коллимировался с помощью асферической линзы после лазера, а затем он фокусировался микрообъективом на носитель записи и производилась запись микроструктур размером 5–10мкм. Длительность лазерных импульсов и их частота контролировалась от компьютера. На рисунке 2а) приведена фотография записанной с помощью одномодового Blu-Ray лазера на слое a- Si интерференционного фильтра латинской буквы Н специально для конференции HOLOEXPO.

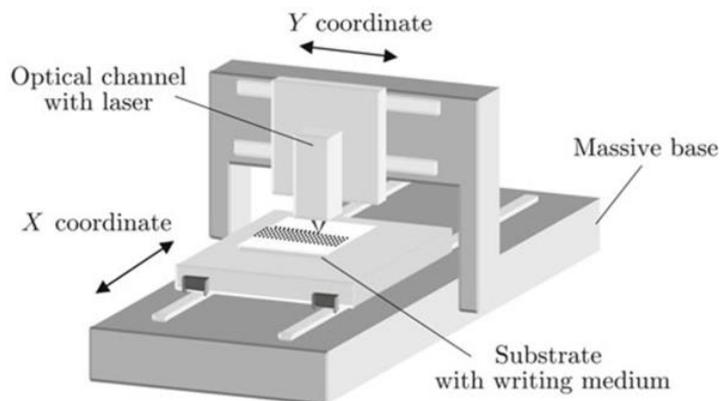


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

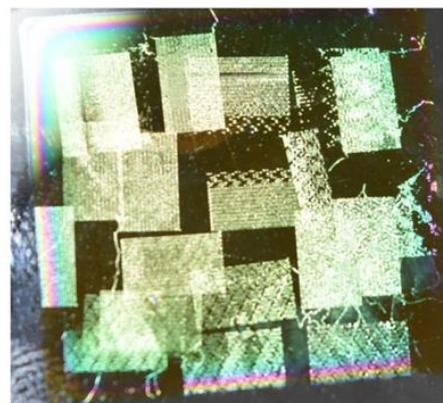


Рис. 4. Фотография 3D изображения, записанного на структуре a-Si/Al

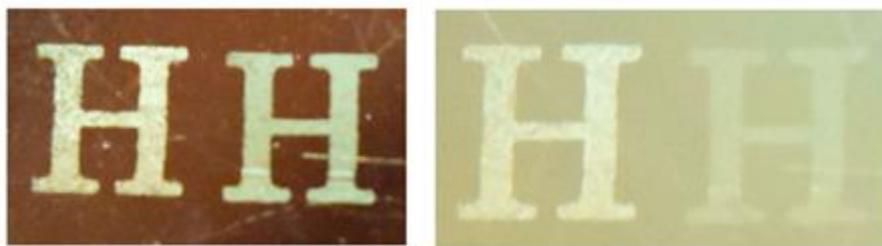
При воздействии сфокусированным лазерным излучением на слой a-Si происходит локальное изменение пропускания и коэффициента преломления среды, формирование рельефа (рисунок 2б). Таким образом, в месте воздействия лазерного излучения на слой a-Si интерференционного фильтра происходит нарушение действия многолучевой интерференции и тем самым появляется возможность записи контрастного изображения на фоне цвета фильтра (рисунок 2а).

Измерение записанного рельефа на рисунке 2б показывает, что при взаимодействии лазерного излучения на пленку аморфного кремния формируется рельеф высотой 30–100 нм. Недостатками использованного для экспериментов полупроводникового лазера являются: зависимость качества лазерного пучка от тока накачки и малая длина когерентности.

## 2. Эксперименты по трехмерной лазерной записи на двухслойной структуре аморфного кремния/алюминий.

Эксперименты по трехмерной лазерной записи проводились на пленках аморфного кремния толщиной 0,5–1 мкм, полученных методом магнетронного нанесения. Для повышения контраста записываемого изображения в отраженном свете проводилась, также, запись на пленки аморфного кремния, нанесенные на тонкий металлический слой, предварительно нанесенный на стеклянную подложку с образованием интерференционного фильтра, [4, 6].

На рисунке 3 представлена схема экспериментальной установки. 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. Компьютер контролировал длительность лазерных импульсов, их частоту, и движение координатного стола. Для прямой лазерной записи использовались пленки аморфного кремния различной толщины  $\approx 0,5$ –2 мкм.



а) изображение в первом порядке      б) изображение в нулевом порядке

Рис. 5. Фотографии изображения двух букв Н, записанной на поверхности (слева) и в объеме слоя аморфного (справа), и снятых в первом (а) и нулевом (б) порядке отраженного света



Рис. 6. Фотография трех букв Н записанных с различной глубиной фокуса в среде

При взаимодействии сфокусированного лазерного луча на слой а-Si происходит с локальной кристаллизацией и формированием рельефной структуры [2, 6]. За счет рассеяния Рэлея на элементах трехмерной лазерной записи, можно визуально наблюдать трехмерное изображение за счет различной фазы рассеянных волн от фрагментов записи на разной глубине регистрирующей среды (рисунок 4) для источника света со сплошным спектром.

Визуально наблюдается одно изображение над другим (рисунок 4) для прямой лазерной записи в толстых пленках аморфного кремния. Интенсивность рассеянного света пропорциональна концентрации плотности точечных элементов записи ( $\approx N$ ) за счет рассеяния Рэлея.

На рисунке 5 приведены фотографии изображения буквы Н, записанной на поверхности (слева) и в глубине слоя аморфного (справа), снятых в первом (рисунок 5а) и нулевом (рисунок 5б) порядке отраженного света.

При наблюдении в нулевом порядке отраженного света от поверхности слоя аморфного кремния изображение, записанное в глубине слоя аморфного кремния, становится скрытым. Таким образом, регистрация изображения в глубине слоя аморфного кремния может использоваться в качестве скрытого изображения для применений в области защиты от копирования.

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

Экспериментально показаны возможности использования пленок аморфного кремния с алюминиевым подслоем в качестве трехмерной среды для оптической лазерной записи. Отлажена технология нанесения однородных пленок аморфного кремния различной толщиной 0,5–2 мкм методом магнетронного нанесения и с вращающимся магнитным полем. Представлены результаты трехмерной лазерной записи изображений в объеме слоя аморфного кремния. Предложенный способ трехмерной лазерной записи на а-Si привлекателен для создания 3D принтера с записью изображений и дот матрикс голограмм

Это делает привлекательным использование прямой лазерной записи на аморфном кремнии для приложений, обеспечивающих защиту от копирования. Прямая лазерная запись на слое а-Si интерференционного фильтра одномодовым Blu Ray лазером  $\lambda=405\text{нм}$  позволяет получать запись контрастных изображений. Разработанное устройство для записи дифракционных элементов и технология прямой записи на пленках аморфного кремния могут быть использованы для записи 3D изображений, 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. Кутанов, et al. // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. — 2010. — Vol 46. — № 2. — 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 с.
- [3] **Schopf, R. E.** Antireflective Submicrometer Surface-Relief Gratings for Solar Applications / R. E. Schopf, T. Hultsch, J. Lotz, et al. // Solar Energ. Mater. Solar Cells. — 1998. — Vol. 54. — № 1. — P. 333–342.
- [4] **Kutanov, A.** Direct Laser Recording on Amorphous Silicon Film / A. Kutanov, I. Snimshikov, N. Sydyk uulu // Physics Procedia. — 2015. — Vol. 73. — P. 82–86.
- [5] **Евраз. патент № 007874.** Устройство для записи дифракционных элементов / А. Г. Полещук, А. А. Кутанов, В. П. Бесмельцев, И. А. Снимщиков, — Оpubл.Бюл. № 1
- [6] **Kutanov, A.** Interference filter with amorphous silicon layer and direct laser recording on it / A. Kutanov, N. Sydyk uulu, I. Snimshikov, Z. Kazakbaeva // Journal of Physics: Conference Series. — 2016. — Vol. 737. — № 1.