

**ПЕРЕЗАПИСЫВАЕМЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ФАЗОВЫЕ СТРУКТУРЫ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ  $Ge_2Sb_2Te_5$  НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЛНОВОДОВ ИЗ НИТРИДА КРЕМНИЯ**

**Трофимов П.И.** (Университет ИТМО)  
**Научный руководитель – к.ф.-м.н, Синев И.С.**  
(Университет ИТМО)

Интегральные фотонные структуры активно применяются в таких областях, как квантовые коммуникации и нейроморфные вычисления. Однако на текущий момент функциональные возможности по управлению светом внутри таких структур ограничены, либо требуют постоянных затрат энергии для их работы. В данной работе мы изучаем формирование индуцированных лазером периодических поверхностных структур в тонких пленках материалов с фазовой памятью, нанесенных на поверхность волновода из нитрида кремния. Такие периодические структуры являются перезаписываемыми, а их период и направление зависит от параметров лазерного облучения, что позволяет динамически управлять отражением и рассеянием света в этих волноводных структурах. Наконец, оптические элементы на основе материалов с фазовой памятью по своей природе являются энергонезависимыми и не требуют постоянных затрат энергии во время своего функционирования.

**Введение.**

Для эффективного управления светом внутри интегральных фотонных структур требуется элементная база с широкими функциональными возможностями. На текущий момент существуют различные способы создания перестраиваемых или активных элементов волноводов, таких как волноводные разветвители, отражательные элементы и устройства для ввода/вывода излучения. Одним из основных требований к таким элементам наряду с высокой эффективностью и широким спектральным диапазоном работы является возможность изменять свой оптический отклик во время работы. Для этого к таким элементам прикладывают напряжение [1], либо нагревают [2] их до определенной температуры определенной температуры, что позволяет локально изменять показатель преломления материала и соответственно контролировать оптический отклик всего элемента. Это расширяет функциональные возможности таких структур, но при этом требует постоянных энергозатрат для поддержания приложенного напряжения, либо повышенной температуры.

С другой стороны, существует семейство халькогенидных материалов с фазовой памятью (например,  $GeSbTe$ ), имеющих два фазовых состояния при нормальных условиях – аморфное и кристаллическое с существенно различающимися оптическими и электрическими свойствами [3]. При этом, такие материалы можно быстро (10-20 нс) переключать между их фазовыми состояниями с помощью коротких оптических, либо электрических импульсов, соответственно изменяя их оптические свойства (показатель преломления) [4]. Более того, при облучении тонких пленок этих материалов фемтосекундными лазерными импульсами в них образуются поверхностные периодические структуры с периодом и направлением, определяемым длиной волны и поляризацией лазерных импульсов [5]. Наконец, поскольку периодичность в таких структурах возникает из-за чередующихся аморфных и кристаллических областей материала с фазовой памятью (МФП), то это дает возможность изменять оптический отклик данных структур в процессе их работы за счет переключения фазы МФП между аморфной и кристаллической.

[1] Journal of Applied Physics 130, 010901 (2021);

[2] Opt. Express 27, 4, 4147-4156 (2019)

[3] Nature Photonics 11, 465-476 (2017)

[4] Sci. Rep. 7, 9688 (2017)

[5] ACS Appl. Mater. Interfaces 13, 27, 32031–32036 (2021)

### **Основная часть.**

Суть предлагаемого решения состоит в создании гибридной волноводной структуры из нитрида кремния покрытого тонким слоем материала с фазовой памятью – Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> (GST), в котором под воздействием лазерных импульсов формируются периодические поверхностные структуры из чередующихся аморфных и кристаллических областей GST. В таких структурах возможно управлять пропусканием света внутри волновода, а также его рассеянием в свободном пространстве под заданными углами, меняя его оптический отклик во время работы.

В данной работе исследуются режимы формирования периодических поверхностных фазовых структур в тонких пленках GST, нанесенных на нитрид кремния, а также на волноводы из нитрида кремния. Сначала исследовалось облучение тонкого слоя GST толщиной 50 нм на подложке из нитрида кремния фемтосекундными лазерными импульсами (290 фс, 1 МГц, 700-900 нм). При облучении образца в таком режиме и одновременном сканировании вдоль перетяжки лазерного пучка образцом в нем были сформированы периодические поверхностные структуры (период 600-800 нм). На второй стадии проекта исходно аморфный тонкий слой GST 50 нм, нанесенный локально с помощью электронной литографии поверх волноводной структуры из нитрида кремния, был кристаллизован с помощью нагрева плиткой и затем облучен одиночными фемтосекундным лазерными импульсами (290 фс, 1 Гц, 770 нм), что привело к формированию периодических структур. В результате были получены карты топографии поверхности, а также оптические изображения сформированных периодических структур. Наконец, при повторном облучении слоя GST одиночными лазерными импульсами с большей плотностью мощности и сканированием образца вдоль перетяжки пучка тонкий слой GST был полностью аморфизован.

### **Выводы.**

В результате, в данной работе было показано формирование фазовых периодических поверхностных структур в тонких пленках GST на подложке и волноводах из нитрида кремния при облучении их фемтосекундными лазерными импульсами. Направление и период таких структур определяется параметрами лазерного излучения. Кроме того, данные структуры являются потенциально перезаписываемыми, поэтому на их основе можно разрабатывать перестраиваемые фотонные интегральные элементы, такие как брэгговские отражатели, либо элементы рассеивающие пучки света под заданным углом.

Трофимов П.И. (автор)

Подпись

Синев И.С. (научный руководитель)

Подпись