

СЕЛЕКТИВНОЕ БЕЗМАСОЧНОЕ ТРАВЛЕНИЕ $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

Шмидт И. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат физ.-мат. наук Синельник А.Д.
(ИТМО)

Введение. В настоящее время приборы на основе кремниевой электроники испытывают застой, и все большее число исследований направлено на новую, активно развивающую область физики – фотонику. Одной из основных проблем для масштабного использования фотонных устройств является отсутствие широкого набора инструментов для управления светом. Перспективным решением для устранения этого недостатка является создание метаповерхностей из материалов с фазовой памятью, например, $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST) [1]. Метаповерхность – искусственно созданная двумерная структура, позволяющая управлять электромагнитными волнами и проявляющая свойства, которые отсутствуют в природных структурах. GST – это материал, который под воздействием лазерного излучения может переключаться между аморфной и кристаллической фазами, и не будет возвращаться в первоначальную фазу до тех пор, пока не подвергнется внешнему воздействию [2]. У данного материала сильно отличаются показатели преломления в аморфной и кристаллической фазах, что можно использовать для записи и хранения информации [3]. Основной проблемой изготовления метаповерхностей является сложность и дороговизна их разработки. В данной работе мы рассматриваем простой и дешевый способ безмасочного травления [4,5]. Метод локального лазерного нагрева (ЛЛН) позволяет сформировать чередующуюся структуру из аморфной и кристаллической фаз GST, а в зависимости от концентрации щелочи в растворе будет происходить травление одной из двух фаз материала [5].

Основная часть. Методику создания данных структур можно разделить на два этапа: 1) создание периодической структуры из аморфной и кристаллической фаз GST методом ЛЛН; 2) селективное травление одной из фаз GST в растворе щелочи.

ЛЛН осуществлялся фемтосекундным лазером, так как за такой короткий промежуток времени энергия лазерного излучения, которая перейдет в тепло, не успеет распространиться на большую площадь, и фазовому переходу подвергнется лишь та часть образца, которая находится в области лазерного пятна. При длительном воздействии лазера или высокой плотности энергии может произойти абляция материала с поверхности подложки. Для исключения данного эффекта мы использовали минимальную плотность энергии, которой было достаточно для перевода GST в кристаллическое состояние на определенной скорости перемещения лазера. Данная установка ЛЛН состоит из следующих частей:

1) Твердотельный фемтосекундный титан-сапфировый лазер, генерирующий импульсы длительностью 50 фс на длине волны 790 нм с частотой следования 80 МГц;

2) Акустооптический модулятор (АОМ) в данной системе выполняет функцию затвора, который включает и выключает первый порядок дифракции лазерного луча. Оптическая схема настроена на первый порядок дифракции, а при его отсутствии образец не подвергается воздействию лазерного излучения;

3) Транслятор на воздушной подушке, позволяющий перемещать образец в двух направлениях.

В качестве образцов были взяты 4 типа подложек из кремния, стекла, сапфира и ИТО с GST толщиной 50 нм, осажденным на них магнетронным распылением.

На образцах методом ЛЛН была создана периодическая одномерная структура, состоящая из аморфной и кристаллической фаз GST. Были сделаны образцы с четырьмя различными периодами областей, переведенных в кристаллическую фазу. Период следования полос в кристаллической фазе составил $d = 0.5, 1, 1.5, 2$ мкм. Мощность лазерного луча для получения кристаллической фазы GST на ИТО составила 7000 мкВт, для сапфира – 50000 мкВт, а скорость перемещения лазерного пучка по поверхности составила 200 мкм/с. Далее структуры было

необходимо протравить в щелочи. Перед травлением образцы подвергались чистке в ультразвуковой ванне последовательно в деионизированной воде, ацетоне и изопропиловом спирте каждый раз по 5 минут при 20 °С. Далее образцы сушились на печке для удаления остатков жидкостей в течение 10 минут при 50 °С.

Затем образцы были погружены в 25% раствор ТМАН (гидроксид тетраметиламмония) на 30 минут для травления аморфной фазы. Далее образцы помещались в раствор кислоты, чтобы нейтрализовать щелочь и остановить дальнейший процесс травления кристаллической фазы. Полученные структуры были оценены на АСМ и СЭМ для контроля качества протравленных структур.

После был оценен спектр рассеяния в темном поле полученных 1D фотонных структур. Спектр измерялся на спектрометре Horiba LabRAM-VIS-NIR в видимом диапазоне. Для засветки использовалась галогенная лампа. Засветка происходила сбоку через объектив с 10-кратным увеличением и числовой апертурой $NA = 0.26$, а рассеянное излучение собиралось сверху через объектив с 10-кратным увеличением и числовой апертурой $NA = 0.26$. Максимумы интенсивности были определены на длинах волн, соответствующих периоду протравленных полос. После этого кристаллическая фаза под воздействием лазера была переведена в аморфное состояние, и спектр рассеяния измерялся повторно. Было выявлено смещение максимума интенсивности в сторону коротких волн.

Выводы. В ходе выполнения настоящей работы была определена мощность лазера для перевода GST толщиной 50 нм из аморфной фазы в кристаллическую, напыленный на различные подложки. Для ИТО мощность составила 7000 мкВт, сапфира – 50000 мкВт. Также были выявлены параметры травления, а именно: концентрация раствора ТМАН, равная 25%, и время травления – 30 минут, необходимые для получения 1D структур. Качество травления было оценено на АСМ и СЭМ. В ходе исследования спектра рассеяния протравленных структур было обнаружено, что пики интенсивности смещаются в коротковолновую область при реаморфизации GST.

Список использованных источников:

1. Li C. et al. Phase Change Materials-Based Bilayer Metasurfaces for Near-Infrared Photonic Routing //Advanced Functional Materials. – 2023. – P. 2310626.
2. Rybin M. V. et al. Optically Reconfigurable Spherical Ge-Sb-Te Nanoparticles with Reversible Switching //Laser & Photonics Reviews. – 2022. – V. 16. – №. 2. – P. 2100253.
3. Wang Q. et al. Optically reconfigurable metasurfaces and photonic devices based on phase change materials //Nature photonics. – 2016. – V. 10. – №. 1. – P. 60-65.
4. Bochek D. V. et al. Fabrication of Ge₂Sb₂Te₅ metasurfaces by direct laser writing technique //Optics & Laser Technology. – 2021. – V. 141. – P. 107124.
5. Deng C., Geng Y., Wu Y. Selective wet etching of Ge₂Sb₂Te₅ phase-change thin films in thermal lithography with tetramethylammonium //Applied Physics A. – 2011. – V. 104. – P. 1091-1097.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта НИРМА ФТ МФ Университета ИТМО.