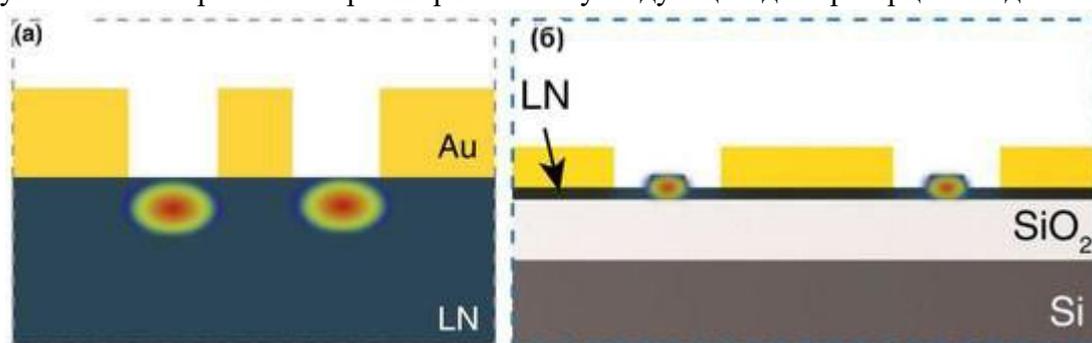


УДК 621.793+681.7.062.2

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ТОЛЩИНУ БУФЕРНОГО СЛОЯ В ОПТИЧЕСКОМ ТОНКОПЛЕНОЧНОМ МОДУЛЯТОРЕЗинюков Илья Русланович ⁽¹⁾, Трекушевский Данил Сергеевич ⁽²⁾, Купцов Алексей Дмитриевич ⁽³⁾*Студент 3 курса бакалавриата ⁽¹⁾, студент 4 курса бакалавриата ⁽²⁾, аспирант 4 года ⁽³⁾**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: С.В. Сидорова,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Модуляторы оптического сигнала являются значимыми компонентами литографии, обеспечивая сверхбыстрое управление параметрами световой волны. Они применяются для создания компактных энергоэффективных систем для сетей связи нового поколения (6G), прецизионных литографических систем и пр. [1]. Традиционные устройства, в которых модуляция происходит в массе кристалла, сталкиваются с физическими ограничениями. Необходимость приложения высоких управляющих напряжений и электрическая емкость электродов ограничивают их полосу пропускания и препятствуют миниатюризации. На смену им пришли высокоэффективные тонкопленочные аналоги [2]. Локализация оптической моды (рисунок) в слое нанометровой толщины позволяет радикально сблизить электроды, что снижает полуволновое напряжение и расширяет полосу модуляции до терагерцового диапазона.



Устройство оптических модуляторов объемного (а) и тонкопленочного типов (б)

Однако переход к тонкопленочным структурам ставит перед производством вызовы: формирование диэлектрических слоев с высокой равномерностью и однородным показателем преломления по всей площади подложки.

Цель работы – выявление связи параметров осаждения и толщины буферного слоя оксида кремния SiO₂, сформированного методом ВЧ-магнетронного распыления.

Устройство тонкопленочного модулятора представляет из себя многослойную структуру, состоящую из активного и буферного слоев на кремниевой или сапфировой подложке. Активный слой является ключевым: через управляющие электроды в слое возникает эффект Поккельса под действием внешнего электрического поля. Показатель преломления материала практически мгновенно изменяется, чем производит быструю модуляцию амплитуды проходящего света.

Буферный слой выполняет защитную функцию, предотвращая утечки излучения из активного слоя в подложку и удерживая моду. Может быть выполнен из оксидов кремния, алюминия, гафния и иных оксидов, имеющих специализированный набор параметров: низкая диэлектрическая проницаемость ($\epsilon \approx 3,9$ у SiO_2) для широкополосного согласования фаз и низкий показатель преломления ($n \approx 1,45$ у SiO_2) для удержания оптической моды [3]. Наиболее подходящим материалом для формирования буферного слоя является оксид кремния. Выбор обоснован тем, что он обладает низким показателем преломления и является нативным оксидом несущей подложки.

Одним из распространенных методов формирования тонких оксидных пленок является магнетронное распыление, позволяющее получать достаточно равномерные по толщине покрытие. Формирование пленок SiO_2 осуществлялось методом ВЧ-магнетронного распыления из оксидной мишени на установке МВТУ-11-1МС, расположенной на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана в лаборатории «Нано- и микротехнологии». При варьировании времени нанесения и потока натекания рабочего газа были получены пленки различных толщин.

Исследование размеров и однородности пленок проводилось методом интерференционной микроскопии на интерферометре МИИ-4М. Для каждого образца делалось по три снимка, на каждом снимке делалось по три измерения. Обработка результатов исследования методом полного факторного эксперимента позволила определить влияние варьируемых факторов (поток натекания рабочего газа, продолжительность нанесения материала) на толщину и неравномерность пленки.

В дальнейшей работе планируется исследование оптических характеристик полученных покрытий SiO_2 .

Литература

1. *Ausrine Bartasyte* [et al.]. Integration of epitaxial LiNbO_3 thin films with silicon technology. *Nanotechnology*, 2024, 35 p.
2. *Mian Z* [et al.]. *Integrated lithium niobate electro-optic modulators: when performance meets scalability* // *Optica*. 2021. DOI: 10.1364/OPTICA.415762.
3. Hou, S.; Hu, H.; Liu, Z.; Xing, W.; Zhang, J.; Hao, Y. High-Speed Electro-Optic Modulators Based on Thin-Film Lithium Niobate. *Nanomaterials* 2024, 14, 867. <https://doi.org/10.3390/nano14100867>