

ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ГИБКИХ ТЕНЗОДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР (ЛИППС)

Ершов С.В.¹, Васильев М.Д.¹

Научный руководитель - преподаватель факультета технологического менеджмента и инноваций Мошурова Е.Ю.¹

¹Университет ИТМО
svershov@itmo.ru

Исследование выполнено в рамках темы НИР магистрантов и аспирантов №624128 «Исследование оптических, механических и тензометрических свойств гибких прозрачных дифракционных оптических элементов на основе лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10230 «Исследование и разработка методов цветной лазерной маркировки прозрачных материалов».

Введение

В настоящее время активно развиваются робототехнические системы и устройства носимой электроники, требующие точных датчиков контроля механических напряжений и деформаций для отслеживания положения устройств и организма [1,2]. Традиционные сенсоры, основанные на электрических цепях и оптических элементах [2,3], страдают от шумовых эффектов, высокой стоимости производства и сложностей масштабирования, что ограничивает их коммерциализацию [4]. Решением может стать технология гибких механочувствительных сенсоров на основе дифракционных решеток, формируемых лазерно-индуцированными периодическими поверхностными структурами (ЛИППС). ЛИППС – периодический рельеф, создаваемый линейно поляризованным лазерным излучением, с периодом, соизмеримым с длиной волны, и возможностью управления ориентацией и периодом путем изменения поляризации и угла падения. Это обеспечивает простоту, низкие затраты и точную подстройку характеристик, делая ЛИППС выгодной альтернативой классическим методам производства дифракционных решёток. Перенос рельефа ЛИППС на эластичные материалы методом импринт-литографии позволяет создавать гибкие тензодатчики с высокой эластичностью, оптическим считыванием без шумов и низкой себестоимостью. Настоящая работа посвящена финансово-экономическому обоснованию коммерциализации гибких тензодатчиков на основе ЛИППС, включая анализ рынка, конкурентных преимуществ.

Основная часть

Предложенная технология гибких тензодатчиков на основе ЛИППС с переносом рельефа на силиконовые пленки методом импринт-литографии обладает высоким коммерческим потенциалом благодаря ключевым преимуществам. Технология обеспечивает деформацию до 180–300 % с изменением угла дифракции 19–24° (при длинах волн 532 и 650 нм), оптическое считывание без электрических шумов и регулировку усилия растяжения (13–28 Н) за счёт толщины плёнки (0,5–1 мм). ЛИППС на стали AISI304 производятся стандартным лазером, импринт-литография масштабируемый процесс без дорогой фотолитографии, что существенно снижает себестоимость по сравнению с традиционными тензодатчиками. Глобальный рынок носимых технологий оценивается в 84,53 млрд долларов США в 2025 году и прогнозируется на уровне 176,77 млрд долларов США к 2030 году при среднегодовом

темпе роста (CAGR) 15,9 % [5]. Сегмент носимых сенсоров демонстрирует рост от 3,88 млрд долларов США в 2023 году до 9,26 млрд долларов США к 2030 году при CAGR 13,5 % [6]. Рынок печатных и гибких сенсоров ожидается в объеме 11,47 млрд долларов США в 2025 году с последующим увеличением до 22,30 млрд долларов США к 2034 году при CAGR 7,69 % [7]. Целевыми сегментами применения разрабатываемых тензодатчиков выступают носимая электроника, мягкая робототехника и здравоохранение.

Выводы

Проведено финансово-экономическое обоснование коммерциализации гибких тензодатчиков на основе технологии ЛИППС с переносом рельефа на силикон методом импринт-литографии. Технология обеспечивает высокую деформацию (до 180–300 %), чувствительность (изменение угла дифракции до 19–24°), отсутствие электрических шумов и низкую себестоимость производства по сравнению с традиционными аналогами. Глобальный рынок носимых технологий прогнозируется на уровне 176,77 млрд USD к 2030 г. (CAGR 15,9 % с 2025 г.) [5], носимых сенсоров – 9,26 млрд USD к 2030 г. (CAGR 13,5 %) [6], печатных и гибких сенсоров – 22,30 млрд USD к 2034 г. (CAGR 7,69 %) [7]. Целевые сегменты применения разрабатываемых тензодатчиков: носимая электроника, мягкая робототехника и здравоохранение. Проект устойчив к рискам и обладает высокой инвестиционной привлекательностью. Перспективы – патентование, пилотное производство, создание стартапа или лицензирование для носимой электроники, мягкой робототехники и медицины.

Литература

1. Heikenfeld J. et al. Wearable sensors: modalities, challenges, and prospects //Lab on a Chip. – 2018. – Т. 18. – №. 2. – С. 217-248.
2. Yue X. et al. Flexible wearable optical sensor based on optical microfiber Bragg grating //Journal of Lightwave Technology. – 2022. – Т. 41. – №. 6. – С. 1858-1864
3. Guo Z. et al. High-sensitive and stretchable resistive strain gauges: Parametric design and DIW fabrication //Composite Structures. – 2019. – Т. 223. – С. 110955.
4. Elnady F. E. M. et al. Effect of Thermal Noise on the Strain Gradient Sensor Using Cascaded Fiber Bragg Gratings //Microwave and Optical Technology Letters. – 2025. – Т. 67. – №. 9. – С. e70394.
5. MarketsandMarkets. Wearable Technology Market by Product (Smart Watch, Head-mounted Display, Smart Shoes, Smart Vests, Earwear, Exoskeleton, Smart Glasses, Smart Ring, Smart Helmet), Operation (AI-based, Conventional), Type (Active, Passive) - Global Forecast to 2030. – 2026. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/wearable-electronics-market-983.html>.
6. Grand View Research. Wearable Sensors Market Size, Share & Growth Report 2030. – 2025. – URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-wearable-sensor-market>.
7. Precedence Research. Printed and Flexible Sensors Market Size to Reach USD 22.30 Bn by 2034. – 2025. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/printed-and-flexible-sensors-market>.