

Figure 5 – Performance Evaluation using ROC curve

### Spam Email Detection

Enter an email to classify it as Spam or Not Spam.

Email Text

Classify

Figure 6 – Deployment Screen Showcasing Functionality

The confusion matrix revealed minimal false positives and false negatives, demonstrating the model's reliability.

**Deployment Results.** The Streamlit application performed well in real-world scenarios, offering immediate and accurate predictions. The interactive interface allowed users to experiment with different email inputs and understand the model's behavior.

**Conclusion.** This study demonstrates how well logistic regression works to detect email spam. Performance meas-

urements and visualizations highlight the model's resilience. Real-time email classification is made possible by the Streamlit application, which increases usefulness. Even while logistic regression worked well, more sophisticated machine learning models like random forests or deep learning might be investigated in future studies to further improve accuracy.

### References

1. Kaggle. Email Spam Detection Dataset. – 2025. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/> (date of access: 15.11.2024).
2. Pedregosa, F. Scikit-learn: Machine Learning in Python / F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort [et al.] // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12. – P. 2825–2830.
3. Streamlit. Documentation Streamlit. – 2025. – URL: <https://docs.streamlit.io/> (date of access: 15.11.2024).
4. Han, J. Data Mining: Concepts and Techniques / J. Han, M. Kamber, J. Pei. – 3rd ed. – Waltham: Morgan Kaufmann, 2011. – 703 p.
5. Haque, E. Email Spam: A Comprehensive Review of Optimized Detection Methods, Challenges, and Open Research Problems / E. Haque, M. A. Ismail, M. A. Rahman, A. H. Alenezi, M. Uddin // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 45678–45699.
6. A Comprehensive Survey for Intelligent Spam Email Detection / A. Karim, S. Azam, B. Shanmugam, K. Kannoorpatti, M. Alazab // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 168261–168295.

УДК 621.3.049.76

## ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Реутская О. Г., Таратын И. А., Луданик Д. Ю., Койро А. В., Войтеховский А. А.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

**Аннотация.** В работе рассматривается использование лазерной обработки кремния для создания высокочувствительных датчиков угла наклона и газового микроанализа. Проведён анализ технологических особенностей формирования и её влияния на параметры сенсоров.

**Ключевые слова:** кремний, чувствительный элемент угла наклона и газового микроанализа, лазерная обработка, навигационные системы.

## LASER PROCESSING OF SILICON TO CREATE MICROMECHANICAL SENSING ELEMENTS

Reutskaya O. G., Taratyn I. A., Ludanik D. Yu., Koiro A. V., Voitekховsky A. A.

*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The work considers the use of laser treatment of silicon to create high-sensitivity angle sensors and gas microanalysis. The analysis of technological formation and its influence on sensor parameters was carried out.

**Key words:** silicon, tilt angle sensitive element and gas microanalysis, laser processing, navigation systems.

Адрес для переписки: Реутская О. Г., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: oreutskaya@gmail.com

**Введение.** Навигационные системы требуют высокой точности и стабильности при измерении углов наклона в условиях вибраций и температурных колебаний. Одним из перспективных направлений является использование лазерной обработки кремния при формировании конструкции чувствительного элемента. Датчик наклона измеряет изменение положения массы под действием силы тяжести. Внутри кремниевого чипа формируется подвижная механическая структура –

инерционная масса, подвешенная на упругих подвесах толщина подвесов [1].

**Методы и материалы.** Датчики угла наклона, как правило, относятся к категории инерциальных микромеханических датчиков, куда также входят акселерометры и гироскопы. Их производство базируется на стандартных процессах микроэлектроники, адаптированных для создания трехмерных механических структур. В производстве МЭМС используется монокристаллический

и поликристаллический кремний в качестве основных конструкционных материалов, а также диоксид кремния, нитрид кремния и пьезокерамика в качестве «активных» материалов, преобразующих механическое воздействие в электрический сигнал. Для исследования использовались пластины кремния с различной толщиной. Проводился анализ остаточных напряжений методом Раман-спектроскопии, а также моделирование деформаций при изгибе подложки [2].

Методами лазерной микрообработки изготовлены чувствительные элементы датчиков угла наклона (рисунок 1) и химических сенсоров (рисунок 2).



Рисунок 1 – Кремниевый чувствительный элемент датчика угла наклона

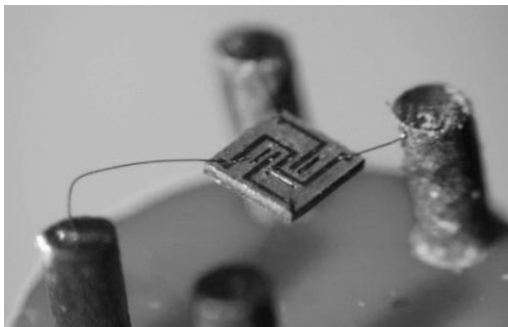


Рисунок 2 – Кремниевый чувствительный элемент сенсора газового микроанализа

Топологии кремниевых элементов датчика угла наклона и сенсора газового микроанализа представлены на рисунках 3 и 4.

**Результаты и обсуждение.** Лазерная обработка кремния и последующая химическая полировка обеспечивает высокое качество поверхности и получение воспроизводимых геометрических параметров чувствительных элементов. Экспериментальные данные показали, что толщина подвесов составляющая 20–30 мкм с соответствующим профилем сечения обеспечивает минимизацию деформаций и повышение чувствительности датчика [3].

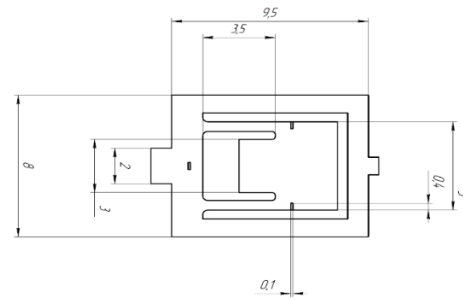


Рисунок 3 – Топология кремниевый чувствительного элемента датчика угла наклона

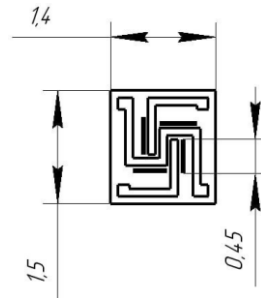


Рисунок 4 – Топология чувствительного элемента сенсора газового микроанализа

**Заключение.** Применение прицезионной обработки кремния открывает новые возможности для создания высокоточных датчиков угла наклона и датчиков газового микроанализа. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию технологических режимов и интеграцию сенсоров в навигационные системы. Данная технология выступает связующим звеном между абстрактным миром цифровых данных и физической реальностью, открывая новые возможности в микросистемной технике [4].

#### Литература

1. Гуртов, В. А. Микроэлектромеханические системы / В. А. Гуртов, М. А. Беляев, А. Г. Бакшеева. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2016. – 171 с.
2. Литвиненко, В. Н. Дефекты и примеси в кремнии и методы их геттерирования / В. Н. Литвиненко, Н. В. Богач // Вестник ХНТУ. – 2017. – № 1. – С. 32–42.
3. Вертянов, Д. В. Трехмерная микросборка на основе кремниевых плат и бескорпусных элементов МЭМС / Д. В. Вертянов, М. М. Буракрв, С. М. Кручинин // Наноиндустрия. – 2018. – № 9. – С. 521–530.
4. Ховив, А. М. Сенсорная электроника, датчики: твердотельные сенсорные структуры на кремнии / под ред. А. М. Ховив – М.: Юрайт, 2025. – 203 с.