

УДК 621.315.592
EDN: IDGZKZ

PACS: 85.30.-z.



Исследование возможности применения нейронных сетей при определении дефектов полупроводниковых материалов по изображениям растровой электронной микроскопии

В. А. Малыгин, К. Э. Баженов, В. С. Попов, Т. А. Засядко

Исследование посвящено разработке способа обнаружения дефектов в полупроводниковом производстве с помощью нейронных сетей по изображениям, полученным при помощи растрового электронного микроскопа. Проведено исследование метода, позволяющего сократить время обработки полученных изображений при поиске дефектов.

Ключевые слова: нейронные сети, растровая электронная микроскопия, полупроводниковое производство, дефекты.

DOI: 10.51368/1996-0948-2024-2-62-66

Один из распространенных способов увидеть структуру поверхности на микроуровне – это электронная микроскопия. Она незаменима при изучении различных материалов, в том числе и при контроле полупроводниковых материалов на производстве. С ее помощью можно получать изображения структур вплоть до наноуровня и обнаруживать различные дефекты, что имеет значение при анализе причин возникновения брака и повышения выхода годных изделий на производстве. Примеры таких дефектов на поверхности полупроводниковых материалов показаны на рисунке 1.

Современные растровые электронные микроскопы позволяют получать большие массивы детальных изображений высокого разрешения в автоматическом режиме, требуя участия оператора только для первичного подвода образца и настройки фокуса микроскопа. Однако, для нахождения, анализа и классификации полученных изображений дефектов необходимы большие затраты сил и времени со стороны оператора электронного микроскопа, что крайне трудоемко и повышает вероятность ошибки, особенно при больших объемах анализируемой информации. В последние несколько лет набирает популярность использование искусственного интеллекта для оптимизации времени, сил и уменьшения влияния человеческого фактора на получаемые результаты. Таким образом, исследование возможности применения искусственного интеллекта при анализе и обработке полученных данных с растрового электронного микроскопа является актуальной задачей [1].

Одним из наиболее мощных инструментов в сфере искусственного интеллекта и автоматического обучения являются нейронные сети, которые базируются на имитации функционирования нейронов в нервной системе человека и способны обнаруживать сложные паттерны и связи в информации, включая исследование изображений [2, 3].

Малыгин Владислав Анатольевич¹, инженер 2 кат.

E-mail: mva1431@yandex.ru

Баженов Константин Эдуардович¹, инженер.

Попов Виктор Сергеевич^{1,2}, зав. лаб., нач. центра, доцент, к.х.н.

Засядко Татьяна Алексеевна¹, инженер 2 кат.

¹ АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, Косинская, 9.

² Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет).

Россия, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 26.02.2024

После доработки 11.03.2024

Принята к публикации 15.03.2024

Шифр научной специальности: 2.2.6.

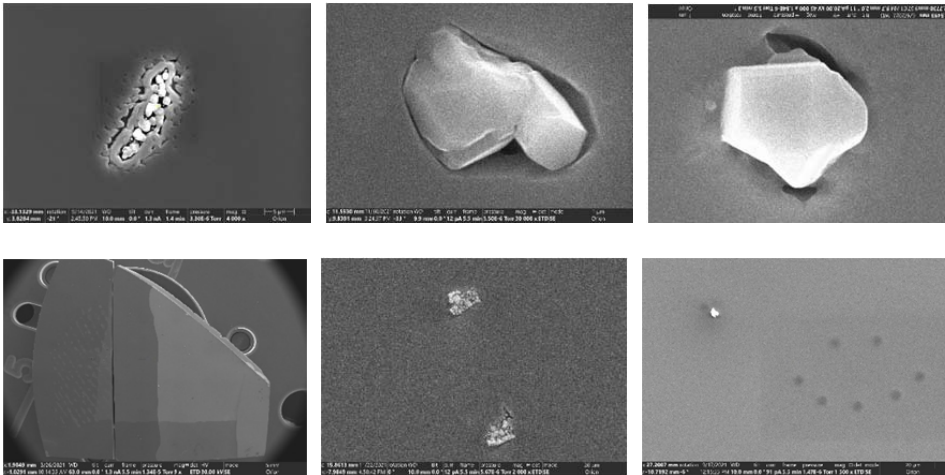


Рис. 1. Примеры дефектов поверхности полупроводниковых материалов

Востребованность в использовании искусственного интеллекта говорит о том, что нейронные сети могут справляться с самыми различными задачами и применимы во многих сферах деятельности [4]. Одним из вариантов использования нейронных сетей, является компьютерное зрение. Нейросети могут обрабатывать фотографии, искать на них интересные объекты и группировать их. Анализ изображений при помощи нейронных сетей имеет огромные возможности для автоматизации и упрощения обработки полученных результатов. Применение нейронных сетей при оценке изображений растровой электронной микроскопии дает возможность обрабатывать большие объемы данных, что делает их особенно ценными для обнаружения дефектов на поверхности полупроводниковых структур [5].

Однако, при применении нейронных сетей имеются и недостатки, к которым можно отнести безопасность, так как большая часть нейронных сетей требует соединения с интернетом для обработки результатов. При тренировке нейросети без интернета недостатком

является необходимость в большом количестве материала для обучения и поиск высокопроизводительного мощного оборудования, на котором будет размещена и обучена нейронная сеть, а также нахождение ядра (основы) нейросети и ее настройка [6].

После изучения материалов и исследований для экспериментов была выбрана нейросеть TrainYourOwnYOLO, базирующаяся на ядре YOLO. Выбор основывался на отсутствии необходимости подключения к сети интернет и возможности работы в офлайн режиме, что позволяет реализовать режим конфиденциальности при работе с экспериментальными материалами. Для работы с этой нейросетью сначала было необходимо ее обучить, делалось это на полученных и отобранных изображениях.

Для проверки эффективности методики обучения и эффективности работы обученной нейросети были проведены пробные эксперименты на модельных изображениях (рис. 2). На фотографии представлено сравнение в обнаружении головных уборов с использовани-

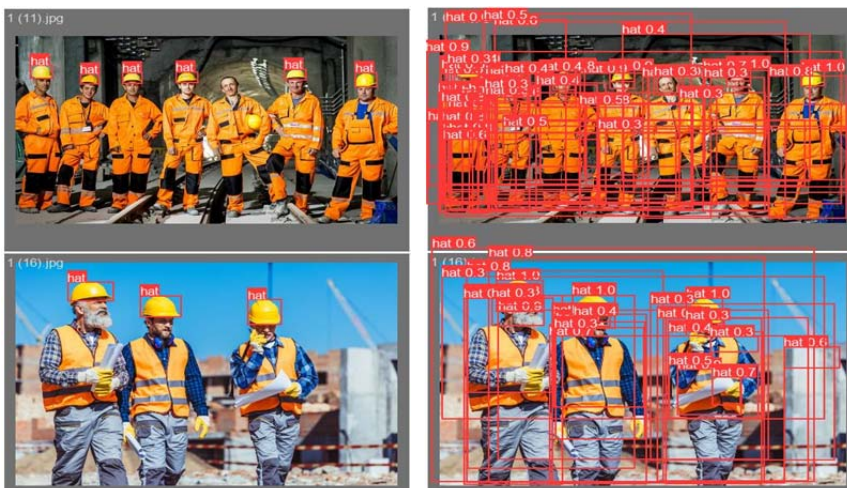


Рис. 2. Результаты проверки работоспособности нейросети

ем сторонней нейросети и нейросети, обученной в настоящем исследовании, как видно из результата выбранная нейросеть полностью работает после обучения, но из-за малого количества данных неточно определяет местоположение и количество головных уборов.

После подтверждения работоспособности методики обучения нейросети было принято решение о возможности перехода на изображения полупроводниковых материалов с учётом использования расширенной выборки изображений для обучения.

С помощью растрового электронного микроскопа Teraflex Prisma E был экспериментально получен большой объем изображений для ряда полупроводниковых материалов, таких как Si, GaAs, CdZnTe, InP, InSb, GaSb.

После подробного изучения всего массива полученных изображений из более чем 600 фотографий для обучения нейросети были отобраны несколько десятков дефектов, которые хорошо выделяются на изображениях. При обучении нейросеть лучше воспринимает однотипные объекты, и чем они более похожи друг на друга, тем больше шансов, что нейросеть сможет их опознать. Обучение происходило в несколько этапов, на первом было необходимо вручную отобрать и выделить изображения дефектов (рис. 3), учитывая их различие между собой по форме, контрастности и размеру. Были выбраны изображения однотипных дефектов на поверхности полу-

проводниковых материалов, таких как GaAs и GaSb.

Экспериментально выявлено, что для эффективного обучения нейросети необходимо использовать изображения определенного размера. Размеры фото, на котором будет обучаться нейронная сеть ограничиваются вычислительными мощностями компьютера.

После обучения нейросеть управляется с помощью консоли PowerShell, являющейся программным расширением компании Microsoft и частью системы Windows. В итоге удалось добиться работы нейросети и закончить ее обучение. На полученных изображениях с растрового электронного микроскопа нейросеть смогла достаточно точно определить расположение дефекта. Как видно на рисунке 4, обученная в ходе данной работы нейросеть смогла определить местоположение дефекта и выделила его.

Во время обучения нейросеть использует изображения, на которых вручную были выделены нужные объекты, и запоминает их различные параметры, например, яркость, контрастность, форму и размеры объекта. А затем с обработкой каждого такого изображения с нарастающей эффективностью нейросеть способна более точно находить исходный объект.

Однако существенная разница размеров дефектов на изображениях для обучения и на исследуемом изображении приводит к большой доле ошибок в распознавании.

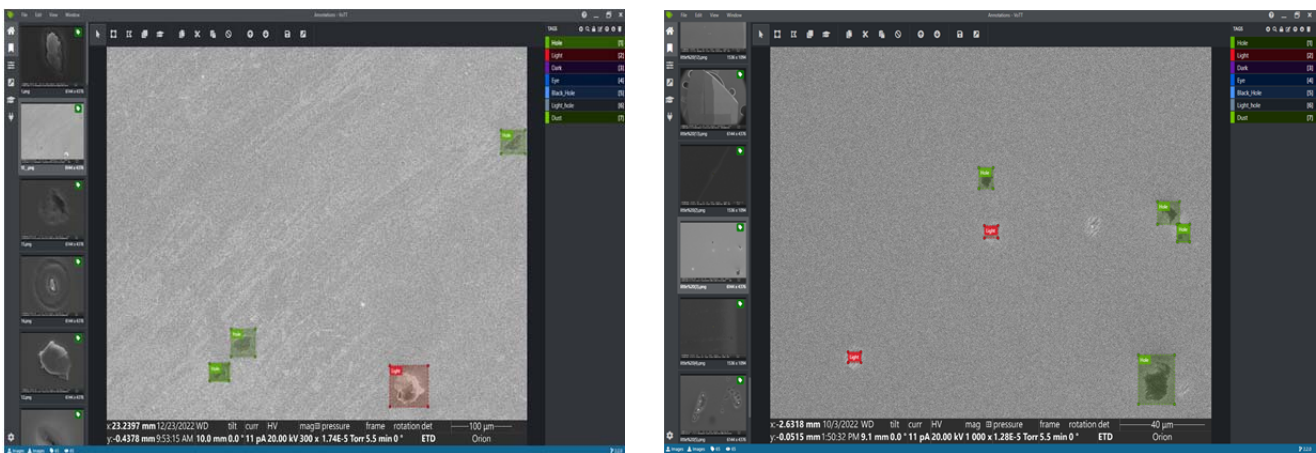


Рис. 3. Выделение дефектов на изображении для последующего обучения нейросети

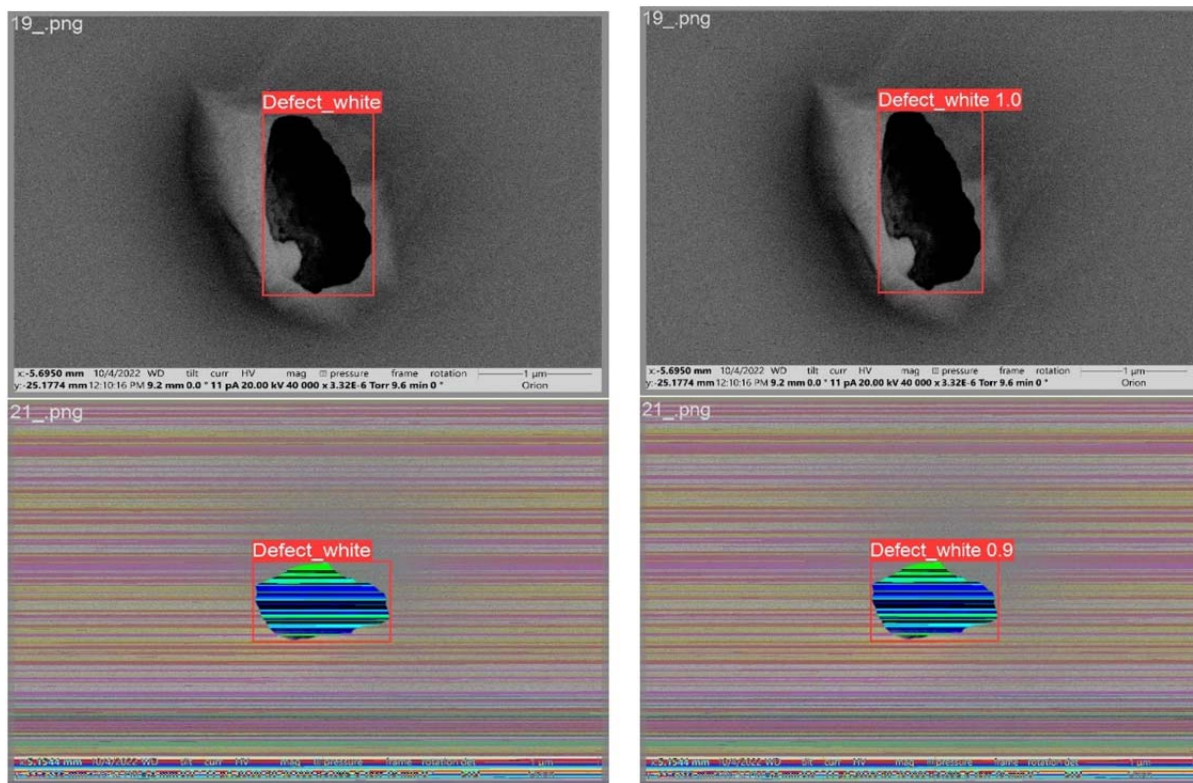


Рис. 4. Результат определения дефекта нейросетью

На рисунке 5 видно, что нейросеть выделила 10 областей, исходя из результатов обучения. Вместе с тем нейросеть не смогла определить дефект в виде вертикальной полосы, так как такого рода дефекты отсутствовали на изображениях, использованных для обучения. Помимо этого, нейросеть распознала скопление дефектов не по отдельности, а как единый объект. Для устранения подобного недостатка, необходимо обучение нейросети на дефектах такого размера.

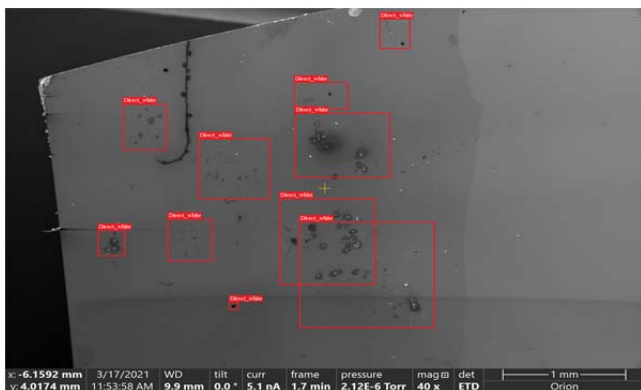


Рис. 5. Неудачное определение дефектов нейросетью

Таким образом, в ходе проведенной исследовательской работы на основе полученного массива изображений поверхности полу-

проводниковых материалов показана возможность обучения нейросети для применения преимуществ искусственного интеллекта при определении дефектов в серийном производстве изделий электронной техники, что позволяет сократить время обработки и анализа полученных изображений. Вместе с тем были выявлены некоторые недостатки методики обучения нейросети, что позволило конкретизировать требования к подходу тренировки нейросети для более точного получения качественного результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петровский Е. В. и др. Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. статей по мат. LXI междунар. студ. науч.-практ. конф. – Новосибирск. 2018. № 1(60). С. 254.
2. Исмаилов Ш. А., Поздняков Н. В. / Мониторинг. Наука и технологии. 2011. № 2. С. 63–72.
3. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002.
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge: MIT Press, 2016.
5. Николенко С. И., Тулупьев А. Л. Самообучающиеся системы. – М.: МЦНМО, 2009.
6. Багаев И. И. / Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2020. Т. 8. № 1. С. 15–22.

Investigation of the possibility of using neural networks in determining defects in semiconductor materials in images of scanning electron microscopy

V. A. Malygin¹, K. E. Bajenov¹, V. S. Popov^{1,2} and T. A. Zasyadko¹

¹Orion R&P Association, JSC
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia

²Moscow Institute of Physics and Technology
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia

Received 26.02.2024; revised 11.03.2024; accepted 15.03.2024

The research is devoted to the development of a method for detecting defects in semiconductor manufacturing using neural networks in images obtained using a scanning electron microscope. A study has been conducted on a method that allows to reduce the processing time of the obtained images when searching for defects.

Keywords: neural networks, scanning electron microscopy, semiconductor production, defects.

REFERENCES

1. Petrovsky E. V. et al. Scientific community of students of the XXI century. Technical sciences: Sat. art. on mat. LXI International Student Scientific and Practical Conference. Novosibirsk, 2018, № 1(60), p. 245.
2. Ismailov Sh. A. and Pozdnyakov N. V., Monitoring. Science and technology, № 2, 63–72 (2011).
3. Kruglov V. V. and Borisov V. V., Artificial neural networks. Theory and practice, Moscow, Hotline – Telecom, 2002.
4. Goodfellow I., Bengio Y. and Courville A., Deep Learning, Cambridge, MIT Press, 2016.
5. Nikolenko S. I. and Tulupyev A. L. Self-learning systems, Moscow, ICNMO, 2009.
6. Bagaev I. I., Mathematical and software systems in industrial and social spheres **8** (1), 15–22 (2020).