

Таблица 1 – Сравнение методик проведения АОИ

Название	Принцип работы
Многочастотный муар (аналоговый)	Формирование с помощью аналоговых проекторов «муаровых узоров» на поверхности инспектируемого объекта, считывание информации камерой, расчет по алгоритму точных геометрических характеристик объекта и построение 3D визуализации
Многочастотный муар (DLP- digital light projector)	Формирование с помощью матриц цифровых проекторов «муаровых узоров» на поверхности инспектируемого объекта, считывание информации камерой, расчет по алгоритму точных геометрических характеристик объекта и построение 3D визуализации
Лазерное измерение	3D реконструкция исследуемого компонента путем лазерной триангуляции
2D метод	Снимок объекта с использованием многоуровневой кольцевой RGB подсветки, анализ и подсчет снятых камерой пикселей определенного цвета, дальнейшая реконструкция либо сравнение с эталоном

В данный момент установки АОИ разрабатываются в Южной Корее (KohYoung, PEMTRON, PARMi), Китае (1ClickSMT, MagicRay, ALeader).

В данной работе проведен сравнительный анализ установок автоматических оптических инспекций, приведена таблица с принципом работы различных методов АОИ.

Список использованных источников

1. Домницкий, В. К. Оптические системы инспекции в качестве инструмента контроля элементов печатных плат: первичные требования [Текст] / В. К. Домницкий, Д. А. Гришин // Вестник науки. 2023. №6 (63).
2. Каширин, Н. В. Система автоматической оптической инспекции печатных плат [Текст] / Н.В. Каширин, Т.С. Ходатаева, А.И. Аверина, А.Е. Гурьянов // Nanoindustry Russia 18(11s):441

Артюшина Анастасия Сергеевна, аспирант гр. науч. спец. 2.2.8, as.artyushina@yandex.ru.

УДК 533.9 + 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ЧАСТИЦ, ФОРМИРУЕМЫХ В ПЛАЗМЕ ВГР, НА ПАРАМЕТРЫ СКРАЙБИРОВАНИЯ ПЛАСТИН КРЕМНИЯ

И.Р. Яхин, С.В. Кричевский, В.А. Колпаков
«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: высоковольтный газовый разряд (ВГР), скрайбирование, моделирование, сетчатый анод, электронный луч.

Современные методы скрайбирования полупроводниковых пластин имеют ряд недостатков. Механическая резка алмазным диском дает ширину реза 30-50 мкм и сопровождается образованием сколов и микротрещин. Лазерная абляция обеспечивает ширину реза 20-30 мкм, однако создает зону термического влияния до 50 мкм, что снижает прочность кристаллов [1]. Оба метода требуют механического сканирования, что ограничивает производительность.

В работах [2, 3] показано, что плазма высоковольтного газового разряда (ВГР) генерирует направленные потоки отрицательных ионов, способные эффективно взаимодействовать с поверхностью полупроводника. Использование сетчатого анода позволяет формировать протяженные линейные потоки, соответствующие геометрии линий скрайбирования, что исключает механическое сканирование – вся линия обрабатывается одновременно.

Целью работы является анализ параметров скрайбирования кремниевых пластин под действием потока отрицательных ионов плазмы ВГР. Моделирование выполнялось в специально разработанном приложении на языке Python, реализующем подходы, описанные в работах [3, 4].

В результате моделирования получены следующие параметры скрайбирования монокристаллического кремния: ширина реза составляет 8-10 мкм, локальный перепад температур в зоне обработки не превышает 50-70 К. Механизм сублимации обеспечивает передачу энергии непосредственно атомам кремния без плавления окружающих областей, что исключает образование грата и рекаста.

Сравнение с существующими методами показывает, что предлагаемый способ позволяет уменьшить ширину реза в 2-3 раза по сравнению с лазерным и в 3-5 раз по сравнению с механическим скрайбированием, полностью устраняя зону термического влияния и механические дефекты. Сетчатый анод обеспечивает одновременную обработку всей линии скрайбирования, что кратно повышает производительность процесса.

Таким образом, использование внеэлектродной плазмы ВГР для скрайбирования кремниевых пластин позволяет достичь ширины реза 8-10 мкм при минимальном нагреве приповерхностных слоев. Полученные результаты подтверждают перспективность применения данного метода для прецизионного разделения полупроводниковых пластин.

Список использованных источников

1. Lim D.K., Che F.X., Vempaty V.R.S.P. et al. Semiconductor wafer singulation: technological advancements and emerging trends [Text] / D.K. Lim, F.X. Che, V.R.S.P. Vempaty [et al.] // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. – 2025.
2. Казанский Н.Л., Колпаков В.А. Формирование оптического микрорельефа

во внеэлектродной плазме высоковольтного газового разряда [Текст] / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков. – М. : Радио и связь, 2009. – 220 с.

3. Колпаков В.А., Кричевский С.В., Маркушин М.А. Особенности распределения заряженных частиц по энергии в неоднородной плазме, формируемой высоковольтным газовым разрядом [Текст] / В.А. Колпаков, С.В. Кричевский, М.А. Маркушин // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87. – № 3. – С. 60–68.

4. Колпаков В.А. Моделирование процесса травления диоксида кремния в плазме газового разряда высоковольтного типа [Текст] / В.А. Колпаков // Микроэлектроника. – 2002. – Т. 31. – № 6. – С. 431–440.

Яхин Ильдар Раильевич, студ. гр. 6231-110403D, ildar-434@mail.ru

Кричевский Сергей Васильевич, доцент каф. РЭС, krichevskiy.sv@ssau.ru

Колпаков Всеволод Анатольевич, профессор каф. РЭС, kolpakov.va@ssau.ru

УДК 621.396

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ (SLM) ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАДИАТОРОВ ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

К. А. Коровин

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Развитие малых космических аппаратов, в частности платформ стандарта CubeSat, приводит к увеличению плотности размещаемой электронной аппаратуры и росту тепловых нагрузок на бортовые системы. При ограниченных габаритах аппарата обеспечение стабильного температурного режима становится одной из ключевых задач проектирования, напрямую влияющих на надёжность и срок службы спутника.

Традиционные способы отвода тепла в малых космических аппаратах основаны на использовании плоских алюминиевых радиаторных панелей. Однако такие решения имеют ряд ограничений. Площадь излучающей поверхности часто оказывается недостаточной для эффективного отвода тепла, а использование внешних поверхностей корпуса конкурирует с размещением солнечных батарей. В результате снижается энергетическая эффективность космического аппарата.

Перспективным направлением повышения эффективности тепловых систем является применение аддитивных технологий, позволяющих создавать радиаторы сложной геометрии с развитой поверхностью теплообмена. Одной из наиболее распространённых технологий металлической аддитивной печати является селективное лазерное плавление (Selective Laser Melting, SLM). Данная технология позволяет формировать изделия из металлического порошка послойным плавлением с