

УДК 621.382

Использование алмаза для изготовления компонентов электронной техники

Купо Александр Николаевич

kupo@gsu.by

Лукашевич Светлана Анатольевна

lukashevich@gsu.by

УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель, Беларусь

Аннотация. В настоящее время алмаз рассматривается как один из ключевых ресурсов для развития микроэлектроники. Совершенствование методов обработки, включая применение лазерного излучения, обеспечивающего высочайшую точность воспроизведения форм и шероховатость на атомарном уровне, открывает широкие возможности для использования этого уникального материала в микроэлектронике, оптике, ядерной энергетике и космическом приборостроении.

Ключевые слова: алмаз, микроэлектроника, алмазная керамика, характеристики алмаза

Введение. Алмаз признается наиболее перспективным материалом для электронных приборов по совокупности важнейших параметров [1]. Ряд ключевых особенностей этого материала предопределен спецификой его кристаллической решетки с ковалентными связями. Удельное сопротивление нелегированного алмаза составляет 10¹³–10¹⁴ Ом·см при ширине запрещенной зоны 5,45 эВ, а напряженность электрического поля пробоя достигает 107 В/см. Химическая устойчивость алмаза чрезвычайно высока: окисление в присутствии кислорода происходит при температурах выше 900 К, а поверхностная графитизация в условиях высокого вакуума наблюдается при температуре около 1900 К. Рекордная теплопроводность алмаза среди всех известных материалов составляет 20–24 Вт/(см·К) при 300 К. Данное свойство объясняется рекордно высокой температурой Дебая (1860 К), благодаря чему комнатная температура является для материала относительно низкой. Это делает алмаз оптимальной диэлектрической подложкой с высокими теплоотводящими свойствами. Кроме того, теплопроводность очищенного от изотопов алмаза может достигать 33 Вт/(см·К) [2].

Методы и материалы; результаты. Алмаз, являясь радиационно-стойким материалом, прозрачен в широком спектральном диапазоне (от ультрафиолетового до радиоволнового), обладает высокой твердостью (81–100 ГПа), рекордно высокой скоростью распространения звука (18 км/с) и низкой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 5,7$). Благодаря столь уникальному комплексу характеристик алмаз находит применение в качестве теплоотводящих пластин в СВЧ-транзисторах, мощных мультичиповых модулях и линейках полупроводниковых лазеров. Также материал перспективен для изготовления окон мощных гиротронов, клистронов и СО₂-лазеров, аку-

стоэлектронных устройств (таких как фильтры на поверхностных акустических волнах гигагерцевого диапазона) и детекторов ионизирующего излучения [1]. Технологии химического нанесения покрытия (CVD — Chemical Vapor Deposition) расширили возможности создания на основе алмазных пленок СВЧ-приборов, теплопроводящих подложек для электроники, компонентов ламп бегущей волны, акустоэлектронных устройств, лазерных диодов, прототипов квантовых компьютеров, астрономического оборудования, призм, линз, терагерцовых излучателей и радаров, проводящих наноалмазов для терапевтических целей, нанокристаллических алмазных покрытий с управляемой проводимостью и радиационно-стойких детекторов [2]. Использование алмазных структур в качестве теплоотводов позволяет существенно улучшить тепловые характеристики таких приборов, как СВЧ-транзисторы, полупроводниковые лазеры и диоды Ганна [3]. В настоящее время на алмазной основе могут быть созданы все основные типы радиоэлектронных устройств. По сравнению с аналогами, выполненными на основе других полупроводников, такие устройства способны работать при температурах до 800–1000 К в химически агрессивных средах, обладая на несколько порядков большей рассеиваемой мощностью и радиационной стойкостью.

Заключение. Дальнейшее развитие применения алмаза в электронике в значительной степени зависит от решения задачи получения высококачественных легированных монокристаллов и эпитаксиальных пленок алмаза, а также от исследования процессов взаимодействия лазерного излучения с материалами твердотельной электроники. Перспективным методом для поверхностного формообразования алмаза представляется лазерная термохимическая обработка, в основе которой лежит процесс каталитического взаимодействия углерода (составляющего основу алмаза) с водородом или его смесями с водяным паром и углекислым газом [3].

Список источников

- [1] Лучинин В. и др. Алмаз электронного качества. Инновации. Инвестиции. Креативные проекты. *Технологическое оборудование и материалы. Электроника: Наука. Технология. Бизнес*, 2023, № 4, с. 70–89.
- [2] Емельянов В.А., Шершнева Е.Б., Соколов С.И., Купо А.Н. Изучение влияния примесей на процессы формообразования синтетического алмаза в зоне термического влияния лазерного излучения. *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины*, 2022, № 3 (132), с. 117–120.
- [3] Kupo A.N., Emelyanov V.A., Shershnev E.B. Features of diamond crystal processing by pulsed laser radiation in microelectronics technologies. *International journal for science, technics and innovations for the industry «Machines. Technologies. Materials»*, 2025, issue 3, pp. 87–91.