

Структурирование алмазной поверхности при помощи реактивного ионного травления и литографии для целей электроники

А.В. Голованов^{1,2}, Н.В. Лупарев^{1,2}, В.С. Бормашов^{1,2}, А.П. Волков^{1,2}, С.Г. Буга^{1,2}, В.Д. Бланк^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов

Синтетический алмаз находит широкое применение в технологиях, связанных с экстремальными условиями. Высококачественные алмазы, изготавливаемые в ФГБНУ ТИСНУМ, нашли применение в силовых диодах Шоттки [1-2], работающих в жёстких температурных и радиационных условиях, ядерных батарейках [3], составных акустических резонаторах [4-5], демонстрирующих работу на рекордно высоких частотах, термодатчиках с малым временем отклика. Для получения устройств выдающимися характеристиками от алмазных образцов требуется высокая степень кристаллического совершенства и в объеме материала [6], и на поверхности [7].

Важным шагом в развитии технологии обработки алмазных подложек является формирование на алмазной поверхности рельефных структур с контролируемой глубиной, аспектным соотношением и углом наклона стенок. Для создания силовых полевых транзисторов с вертикальной структурой необходимы протяженные канавки и выступы (~100 мкм в длину и 1 мкм в ширину). Другой пример - увеличение КПД ядерной батарейки может быть достигнуто за счёт создания развитой алмазной поверхности. Для этого требуется массив микроямок с максимальным аспектным соотношением.

Реактивное ионное травление с использованием защитных масок, формируемых литографией [7-9] - самый универсальный метод микроструктурирования алмазной поверхности.

С целью совершенствования технологий экстремальной электроники перед нами стояла задача отработать на синтетических алмазах методику реактивного ионного травления для получения рельефных структур с ровной поверхностью, различными углами наклона (вплоть до вертикальных) стенок, поперечными размерами от единиц до сотен мкм и глубиной более 1 мкм.

Алмазные подложки типа Пв и Па были изготовлены в ФГБНУ ТИСНУМ методом роста при высоком давлении и температуре (НРПТ) и отполированы механически в кристаллографической плоскости [001]. Были проведены опыты по травлению алмаза на экспериментальном реакторе с емкостной связью плазмы, созданном в ФГБНУ ТИСНУМ,

и на установке Korea ICP RIE с индуктивной связью плазмы. Травление производилось в газовых смесях на основе SF₆. Рельеф поверхности алмазных образцов исследовался методами РЭМ и АСМ до и после обработки плазмой.

Нами была отработана технология нанесения и формирования защитных масок для травления из оксида алюминия. Материал продемонстрировал термостойкость и селективность травления к алмазу, равную 2, что позволило создавать на алмазе рельефные структуры размером от 2 мкм глубиной более 2 мкм. Крутизна стенок структур определялась способом формирования маски и достигала 30-45°.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ при проведении прикладных научных исследований «Диод» (соглашение о предоставлении субсидии № 14.574.21.0074 от «27» июня 2014 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57414X0074) в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014–2020 гг.».

Литература

1. Blank V. [et al.] Power high-voltage and fast response Schottky barrier diamond diodes. - DRM. - 2015. - V. 57. - P. 32–36;
2. Tarelkin S.[et al.] Power diamond vertical Schottky barrier diode with 10 A forward current. - PSSA. doi:2015. 10.1002/pssa.201532213;
3. Bormashov V. [et al.] Development of nuclear microbattery prototype based on Schottky barrier diamond diodes. - PSSA. doi: 10.1002/pssa.201532214;
4. Sorokin B. P. [et al.] AlN/single crystalline diamond piezoelectric structure as a high overtone bulk acoustic resonator. - APL. - 2013. - V. 102. - P. 113507;
5. Sorokin B. P. [et al.] Microwave Acoustic Properties of Diamond Single Crystal as a Substrate for High-overtone Bulk Acoustic Resonator. - Ultrasonics Symposium (IUS), 2013 IEEE International. - P. 1684 - 1687;
6. Blank V.D. [et al.] The influence of crystallization temperature and boron concentration in growth environment on its distribution in growth sectors of type IIb diamond. - DRM. - 2007. - V. 16. - P. 800–804;
7. Бормашов В.С. [и др.] Глубокое реактивное ионное травление синтетического алмаза. - Изв. ВУЗов. Хим. и Хим. Технол. – 2014. – Т. 57 – С. 4-7;
8. Lee C.L. [et al.] Etching and micro-optics fabrication in diamond using chlorine-based inductively-coupled plasma. - DRM. - 2008. - V. 17. - N. 7-10. – P. 1292 -1296.
9. Ando Y. [et al.] Smooth and high-rate reactive ion etching of diamond. DRM. – 2002. – V. 11 – P. 824-827;