

ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ Ti/TiN- КОНТАКТНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ АЛМАЗА

В.С.Соловьев, Г.А.Гусаков, О.В.Креготень, Е.А.Семенов

НИИ прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко Белгосуниверситета,
220064, Минск, ул. Курчатова, 7, тел./факс 277-24-07

Исследован состав тонкопленочной металлизационной системы Ti/TiN, осажденной на синтетический алмаз методом магнетронного распыления. Наблюдалось некоторое загрязнение пленок кислородом и углеродом, причем углерод находился в составе карбидной фазы.

Термообработка в вакууме при 700-800°C приводит к формированию слоя карбида титана в области границы раздела алмаз/Ti. Азот из нитридного слоя не диффундирует в слой карбида и прилегающую область алмаза. Слой TiN является также диффузионным барьером для Ti и Au, нанесенного на поверхность нитрида.

I. Введение

Уникальное сочетание физико-химических свойств делает алмаз одним из перспективнейших материалов так называемой экстремальной электроники. Поэтому формирование механически прочных и высокостабильных электрических контактов является особой технологической задачей при создании приборных структур на алмазе. Подобная же проблема встает и при использовании алмазных теплопроводов для микроразделов, эффективность работы которых зависит от качества соединительной металлизации.

Обеспечить выполнение довольно жестких требований призваны трехслойные системы металлизации, состоящие из контактирующего карбидообразующего металла (титан), наружного слоя из инертного металла, устойчивого к внешним воздействиям, с хорошей электро- и теплопроводностью (золото). Для придания стабильности и предотвращения взаимодействия между металлами контактирующего и внешнего слоев вводится диффузионный барьер-слой. В этой роли чаще всего выступает платина.

В настоящей работе рассмотрена возможность применения для этой цели нитрида титана, представляющего несомненный интерес по следующим соображениям:

- нитрид титана показал хорошую пригодность к использованию в качестве диффузионного барьера в системах металлизации кремниевых планарных приборов;
- нитрид титана TiN, карбид TiC и монооксид TiO являются изоморфными соединениями, имеющими кубическую решетку и способными образовывать между собой непрерывный ряд твердых растворов [1]; по этой причине загрязнение TiN примесями углерода и кислорода, например, при нанесении, не должно приводить к существенному ухудшению его свойств.

II. Экспериментальная часть

В качестве подложек использовались монокристаллические пластинки синтетического алмаза, вырезанные по плоскости (111) и подвергнутые механической полировке. Подложки крепились на держателе (кремниевая пластина) с помощью кремнийорганического компаунда с низким газовыделением. Непосредственно перед металлизацией проводилась химическая обработка подложек.

Осаждение слоев Ti и TiN производилось при комнатной температуре с помощью магнетронного распыления на постоянном токе в одном цикле с последующим (при необходимости) нанесением Au методом термического испарения. В качестве плазмообразующего газа использовались либо Ar (при нанесении Ti), либо смесь Ar/N₂ (TiN). Толщины слоев Ti и TiN составляли около 50 и 100 нм соответственно. Термообработка образцов для карбидизации области границы раздела алмаз/Ti проводилась в вакууме не хуже 6×10⁻⁴ Па при температурах 700 - 800°C продолжительностью от 5 мин до 1 часа. Регистрация Оже-спектров осуществлялась на сканирующем Оже-микроскопе Perkin Elmer PHJ-660. Профили распределения элементов по толщине получались при распылении мишени пучком ионов Ar⁺ с энергией 3 кэВ.

III. Результаты и их обсуждение

На рис.1 представлен типичный профиль распределения элементов по толщине в металлизационной системе после нанесения. Видно, что на

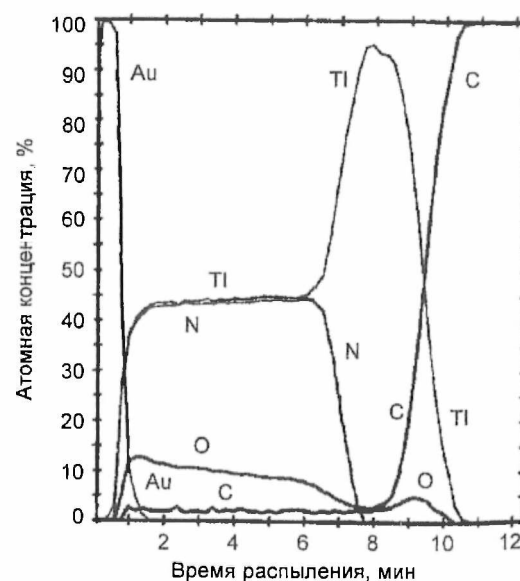


Рис.1. Профили распределения элементов после осаждения слоев

границе раздела алмаз/Ti присутствует пик кислорода, хемосорбированного, скорее всего, уже на исходной поверхности алмаза. Использование сильных окислителей при химобработке алмаза обуславливает наиболее вероятное образование на поверхности довольно устойчивых гидроксильных и эфирных групп, содержащих кислород [2]. В самой же пленке Ti концентрация кислорода не превышает 3 ат.%, что для используемого метода нанесения следует считать вполне удовлетворительным результатом.

Однако, содержание кислорода заметно выше в слое нитрида, причем имеет место монотонный рост по мере приближения к поверхности. Такой характер распределения может быть обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, в качестве реактивного газа использовался газообразный азот без дополнительной очистки, который может содержать до 1 % кислорода [3], по отношению к которому Ti гораздо более активен. Во-вторых, известно [3], что слои TiN, полученные магнетронным распылением, имеют пониженную (до 80%) плотность по сравнению с массивным материалом. Можно предположить поэтому, что при контакте с атмосферой (перед нанесением Au) происходит сорбция кислорода из атмосферы микропорами.

В отличие от кислорода концентрация углерода практически не изменяется по толщине слоев Ti и TiN и остается на уровне 2...2,5 ат.%. Присутствие углерода связано с захватом углеводородов из вакуумного объема, откачка которого производилась паромасляными насосами. Можно отметить в этой связи, что титан и нитрид титана в данном случае характеризуются одинаковой эффективностью геттерирования в отношении углерода.

На KLL-спектрах углерода полученных при послойном травлении нитрида и титана (рис.2 а,б), помимо основного пика 272 эВ наблюдаются два пика тонкой структуры с энергиями около 257 и 263 эВ, которые соответствуют углероду в составе карбида [4]. При приближении к границе раздела Ti/алмаз тонкая структура исчезает, и при травлении алмаза остается лишь основной пик (рис. 2в).

Профили распределения азота и титана в нитридном слое практически совпадают и довольно однородны по концентрации (в среднем около 44 ат.%). Тем самым подтверждается предположение о том, что повышенное содержание кислорода частично обусловлено захватом его микропорами при контакте с атмосферой. Изоморфность же нитрида, карбида и монооксида титана, их способность образовывать непрерывный ряд твердых растворов позволяют утверждать, что в данном случае мы имеем дело скорее с оксикарбонитридом Ti с преимущественным содержанием азота. Это подтверждается также характером оже-спектров углерода, рассмотренных выше.

Следует заметить, что осажденные слои визуально характеризуются золотистым оттенком, типичным для качественного нитрида титана. Эффективное удельное электрическое сопротивление двухслойной системы TiN/Ti, измеренное

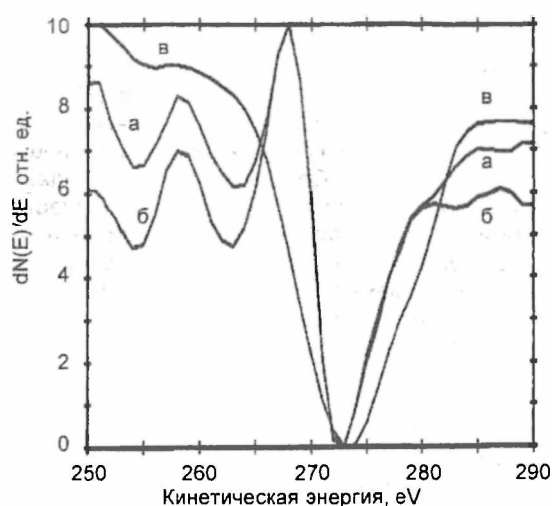


Рис. 2. Оже-спектр углерода:
а- в слое нитрида, б- в области границы раздела Ti/алмаз, в- на поверхности алмаза

4-зондовым методом, составляет около $7,5 \times 10^{-5}$ Ом·см, что типично для таких свежесоздаваемых слоев и вполне приемлемо для целей контактной металлизации алмаза.

При термообработке идет реакция карбидообразования в области границы раздела алмаз/Ti (рис.3); возрастает, хотя и незначительно, концентрация углерода во всем слое нитрида. Происходит также некоторое перераспределение и некоторое выравнивание концентрации кислоро-

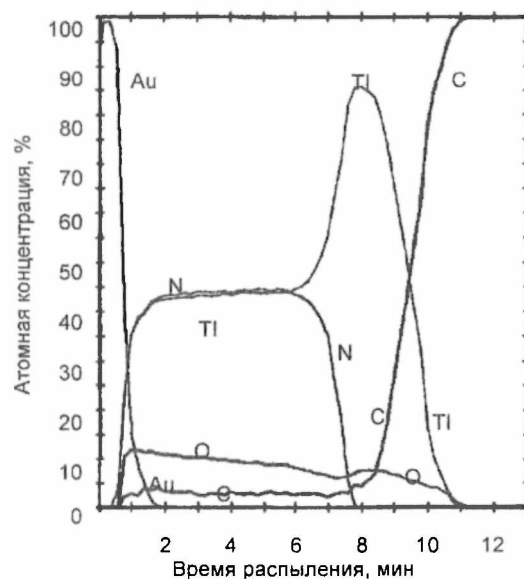


Рис. 3. Профили распределения элементов после осаждения и термообработки при 700°C, 30 мин

да, причем более интенсивно – в области карбидообразования на границе раздела алмаз/Ti. Однако, наиболее примечательным является то обстоятельство, что профиль распределения азота остается неизменным. Можно с достаточно

большой долей уверенности утверждать, что азот при данных условиях (в том числе и при 800°C) не диффундирует в слой карбида (точнее, оксикарбида) Ti, образующегося в области границы раздела алмаз/Ti. Следовательно, отпадает опасность легирования приграничной области алмаза азотом, ответственным за основные примесные дефекты [5]. Не наблюдаются также сколь - нибудь заметной диффузии титана и золота сквозь слой нитрида, т.е. последний выполняет роль диффузионного барьера.

IV. Заключение

Двухслойная система Ti/TiN, осажденная методом магнетронного распыления, перспективна для контактной металлизации алмаза. Незначительный захват кислорода и углерода при осаждении не влияет существенно на свойства слоев ввиду полной изоморфности нитрида, карбида и монооксида титана.

При термообработке азот из нитридного слоя не диффундирует в слой карбида, образующийся в области границы раздела алмаз/Ti, что устраняет опасность легирования им приконтактного слоя алмаза. В условиях вакуумной термообработки нитрид титана является достаточно эффективным диффузионным барьером для золота и титана.

Список литературы

1. Лучинский Г.П. Химия титана. - М.: Химия, 1971. - 470 с.
2. Богатырева Г.П. //Сверхтвердые материалы.-1980. - №2. - С.23.
3. Kattelus H.P., Tandon J.I., Sala C., Nicolet M.A. // J. Vac. Sci. Technol. - 1986. - №4. - P.1850.
4. Алешин В.Г., Смехнов А.А., Богатырева Г.П., Крук В.Б. Химия поверхности алмаза. - Киев: Наук. Думка, 1990. - 200 с.
5. Алмаз в электронной технике: Сб. ст. /Отв. ред. В.Б.Квасков. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 248 с.

AES SPECTROSCOPY OF Ti/TiN CONTACT METALLIZATION OF DIAMOND

V.S.Solov'yev, G.A.Gusakov, O.V.Krekoten', E.A.Semenov

Institute of Applied Physics Problems, Kurchatova 7, 220064 Minsk, Belarus, tel./fax (375-017) 277-24-07

The composition of titanium and titanium nitride films deposited on the synthetic diamond using the method magnetron sputtering has been studied. Some contamination of films by oxygen and cement carbon is take place.

Annealing at high temperature (700 - 800°C) leads to the formation of a titanium carbide layer at the diamond/Ti interface. Nitrogen does not diffuse into carbide layer and adjacent region of diamond. Titanium nitride layer also is a good diffusion barrier for titanium and gold deposited on the nitride surface.

