

УДК 620.186, 620.178.152.32

СТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК Ni-Pt-V НА КРЕМНИИ ПОСЛЕ БЫСТРОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Трухан Р.Э.¹, Лапицкая В.А.^{1,2}, Хабарова А.В.¹, Соловьёв Я.А.¹, Чижик С.А.^{1,2}

¹Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Методами атомно-силовой микроскопии и наноиндентирования исследованы морфология и физико-механические свойства пленок Ni-Pt-V толщиной 40 нм на кремнии после воздействия быстрой термической обработки (БТО). Структура поверхности пленки после 350 °С состоит из зерен размером 11,81–17,77 нм, образующих конгломераты. Размер конгломератов уменьшается при увеличении температуры БТО, а границы между ними становятся менее четкими. Самая низкая шероховатость наблюдается при температуре 350 °С. Удельная поверхностная энергия пленки растет с повышением температуры БТО. Увеличение температуры с 400 до 500 °С повышает модуль упругости и микротвердость в 3,4 раза.

Ключевые слова: пленка Ni-Pt-V, магнетронное распыление, быстрая термическая обработка, морфология поверхности, физико-механические свойства.

STRUCTURE AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF Ni-Pt-V FILMS ON SILICON AFTER RAPID THERMAL ANNEALING

Trukhan R.¹, Lapitskaya V.¹, Khabarava A.¹, Solovjov J.², Chizhik S.¹

¹A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of NAS of Belarus

²JSC "INTEGRAL" – "INTEGRAL" Holding Managing Company

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The morphology and physical and mechanical properties of 40 nm thick Ni-Pt-V films on silicon after rapid thermal annealing (RTA) were studied by atomic force microscopy and nanoindentation techniques. The film surface structure after 350 °C is grains with a size of 11.81–17.77 nm, forming conglomerates. The conglomerates size decreases with RTA temperature increasing, and the boundaries between them become less clear. The lowest roughness is observed at a temperature of 350 °C. The film specific surface energy increases with increasing RTA temperature. Increasing the temperature from 400 to 500 °C increases the elastic modulus and microhardness by 3.4 times.

Key words: Ni-Pt-V film, magnetron sputtering, rapid thermal annealing, surface morphology, physical and mechanical properties.

Адрес для переписки: Трухан Р.Э., ул. П. Бровки, 15, г. Минск, 220072, Республика Беларусь

e-mail: ruslan.trukhan@mail.ru

Введение. Тонкие пленки силицидов на основе никель-платиновых сплавов применяются в КМОП-технологии для создания полицидных затворов и контактов к истокам-стокам транзисторов, а также для создания диодов Шоттки [1; 2]. Формирование таких пленок проводится путем термической обработки никель-платиновой пленки на кремниевых пластинах. Для нанесения пленки Ni-Pt магнетронным распылением в состав мишени вводится ванадий, который переводит сплав Ni-Pt в парамагнитное состояние [2].

Быстрая термическая обработка вызывает структурные изменения пленки [3], которые влияют как на электрофизические свойства, так и на морфологию и физико-механические свойства пленки. Целью работы является исследование морфологии и определение физико-механических свойств пленок Ni-Pt-V на кремнии после воздействия БТО.

Материалы и методы. Пленки Ni-Pt-V толщиной 40 нм наносили методом магнетронного распыления мишени из сплава Ni(77 масс. %)–

Pt(18 масс. %)–V(5 масс. %) в среде аргона чистотой 99,993 % при давлении 0,8 Па и мощности разряда 1,0 кВт на установке 01НИ-7-015 (НИИ точного машиностроения, Россия). В качестве подложки использовали пластину монокристаллического кремния р-типа с удельным сопротивлением 0,005 Ом·см и ориентацией (111).

Пленки никеля на кремнии подвергали быстрой термической обработке в режиме теплового баланса на установке JetFirst 100 (Jipelec Qualiflow, France). Обратные стороны подложек облучались некогерентным световым потоком кварцевых галогенных ламп постоянной мощности в среде азота в течение 7 с. Нагрев проводился до температур от 350 до 500 °С [2].

Исследование морфологии и шероховатости, а также определение силы адгезии поверхности пленок проводилось на атомно-силовом микроскопе Dimension FastScan (Bruker, США) в режиме Peak Force QNM на полях 5×5 мкм². Использовались кремниевые кантилеверы типа CSG10_SS (TipsNano, Россия) с жесткостью

консоли 0,5 Н/м и радиусом острия 5 нм. Удельная поверхностная энергия определялась как отношение силы адгезии к радиусу острия зонда.

Физико-механические свойства (модуль упругости E и микротвердость H) определялись на наноинденторе 750 Ubi (Hysitron, США). Для определения свойств проводилось 9 индентирований при нагрузках до 100 мкН, соответствующих глубине индентирования менее 10 % от толщины пленки.

Результаты. Быстрая термическая обработка поверхности Ni-Pt-V пленок при разной температуре приводит к изменению морфологии поверхности (рисунок 1). При БТО 350 °С (рисунок 1, а) поверхность пленки состоит из зерен размером 11,87–17,77 нм, объединенных в конгломераты размером 69,59 – 483,54 нм. Повышение температуры до 450 °С (рисунок 1, в) – уменьшает размеры конгломератов до 51,68–167,07 нм. При температуре обработки 500 °С размер конгломератов увеличивается относительно температуры 450 °С, а их границы становятся менее четкими.

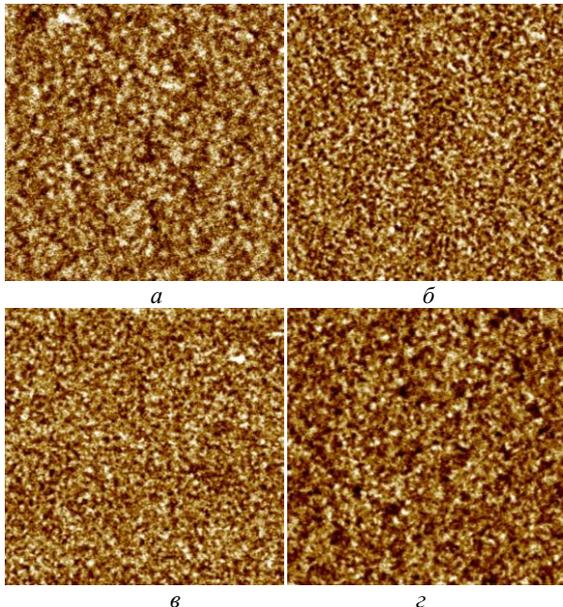


Рисунок 1 – АСМ изображения (5×5 мкм) поверхности Ni-Pt-V пленок на кремнии после БТО при: а – 350 °С; б – 400 °С; в – 450 °С; з – 500 °С

На поле 5×5 мкм² шероховатость пленки увеличивается с повышением температуры БТО с 350 °С до 450 °С (таблица 1). При 450 °С параметр R_z снижается до 1,00±0,05 нм, а R_a и R_q увеличивается до 3,42±0,17 нм и 4,13±0,21 нм относительно температуры 400 °С. Увеличение температуры до 500 °С снижает шероховатость пленки. Самая низкая шероховатость наблюдается при температуре 350 °С и составляет $R_a = 1,99±0,1$ нм, $R_q = 2,35±0,12$ нм и $R_z = 0,80±0,04$ нм. Удельная поверхностная энергия растет при повышении температуры с 0,071 Н/м при 350 °С до 0,079 Н/м при 500 °С.

Модуль упругости и микротвердость пленки Ni-Pt-V снижаются с 196±13 ГПа и 6,8±0,8 ГПа

при 350 °С до 123±4 ГПа и 6,1±0,6 ГПа при 400 °С соответственно. Дальнейшее повышение температуры БТО до 500 °С увеличивает E и H в 3,4 раза до 420±55 ГПа и 21,0±9,5 ГПа соответственно.

Таблица 1. Шероховатость и удельная поверхностная энергия пленок Ni-Pt-V при разных температурах БТО

T , °С	R_a , нм	R_q , нм	R_z , нм	γ , Н/м
350	1,99±0,1	2,35±0,12	0,80±0,04	0,071
400	3,23±0,16	4,02±0,20	1,21±0,06	0,076
450	3,42±0,17	4,13±0,21	1,00±0,05	0,077
500	2,56±0,13	3,12±0,16	0,98±0,05	0,079

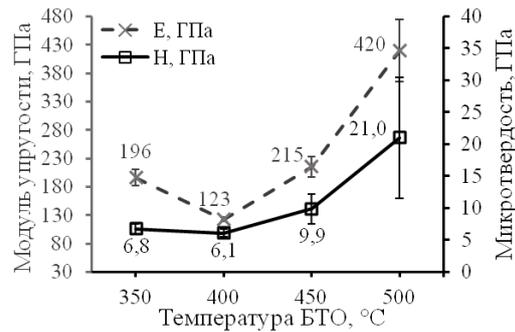


Рисунок 2 – Физико-механические свойства пленок Ni-Pt-V на кремнии после БТО

Заключение. Проведены исследования морфологии поверхности и физико-механических свойств Ni-Pt-V пленок на кремнии после БТО. Структура пленки состоит из зерен, образующих конгломераты, у которых, с увеличением температуры БТО до 500 °С границы становятся менее четкими. Самая низкая шероховатость $R_a = 1,99±0,1$ нм, $R_q = 2,35±0,12$ нм и $R_z = 0,80±0,04$ нм наблюдается при температуре 350 °С. Удельная поверхностная энергия увеличивается при повышении температуры БТО. Модуль упругости и микротвердость имеют самые низкие значения при температуре 400 °С и увеличиваются при повышении температуры до 500 °С

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № T23MЭ-010).

Литература

1. Формирование никель-платинового силицидного слоя в качестве барьерного для диода Шоттки / П.В. Кучинский [и др.] // Электрические контакты и электроды. – 2014. – С. 211–219.
2. Соловьёв, Я.А. Получение барьеров Шоттки быстрой термообработкой пленок сплава никель-платина-ванадий на кремнии / Я.А. Соловьёв, В.А. Пилипенко // Современные информационные и электронные технологии : материалы 21 междунар. науч.-практ. конф., Одесса, 25–29 мая 2020 года / Политехпериодика. – Одесса, 2020. – С. 88–89.
3. Properties of CrSi₂ Layers Obtained by Rapid Heat Treatment of Cr Film on Silicon / T. Kuznetsova [et al.] // Nanomaterials. – 2021. – Vol. 11. – P. 1734.