

2. New and modified anodic alumina membranes Part I. Thermotreatment of anodic alumina membranes / P. P. Mardilovich [et al.] // Journal of Membrane Science. – 1995. – Vol. 98, iss. 1–2. – P. 131–142.

3. Gasenkova, I. V. Effect of annealing on the phase composition and morphology of Al₂O₃ formed in a complex electrolyte / I. V. Gasenkova, E. V. Ostapenko //

J. Surf. Inv. X-ray, Synchr. Neutr. Techn. – 2013. – № 7. – P. 536–541.

4. Мухуров, Н. И. Устройства микромеханики и микросенсоры на нанопористом оксиде алюминия / Н. И. Мухуров, Г. И. Ефремов, О. Н. Куданович. – Мн.: Бестпринт, 2005. – 112 с.

УДК 621.382

ВЛИЯНИЕ БЫСТРОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЕВ СИЛИЦИДОВ NiPt(V)

Довгаль М. И.^{1,3}, Щербаклова Е. Н.¹, Лапицкая В. А.^{1,2}, Соловьев Я. А.³, Пилипенко В. А.³

¹Белорусский национальный технический университет

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси

³ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»
Минск, Беларусь

Аннотация. В работе представлены результаты изучения электрофизических характеристик слоев силицидов Pt-Ni, полученных магнетронным осаждением и последующей быстрой термической обработкой.

Ключевые слова: покрытия Pt-Ni, быстрая термическая обработка, электрофизические свойства.

EFFECT OF RAPID HEAT TREATMENT ON THE ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NiPt(V) SILICIDE LAYERS

Dovgal M. I.^{1,3}, Sherbakova E. N.¹, Lapitskaya V. A.^{1,2}, Soloviev Ya. A.³, Pilipenko V. A.³

¹Belarusian National Technical University

²A.V. Luikov heat and mass transfer institute of the NAS of Belarus

³JSC "INTEGRAL" – "INTEGRAL" Holding Managing Company
Minsk, Belarus

Abstract. The electrophysical properties of magnetron-sputtered Pt-Ni coatings were analyzed following rapid heat treatment.

Keywords: Pt-Ni coatings, rapid heat treatment, electrical properties.

Адрес для переписки: Довгаль М. И., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: max_dovgal@mail.ru

Введение. Микроэлектроника, являющаяся фундаментальным направлением современной электронной промышленности, сосредоточена на создании, изготовлении и практическом использовании интегральных схем (ИС) и различной аппаратуры на их базе [1].

Среди ключевых технологий, применяемых для модификации свойств материалов в данной области, выделяется быстрый термический отжиг (БТО). Этот метод обеспечивает возможность целенаправленного улучшения критически важных характеристик, таких как электропроводность, механическая твердость и коррозионная стойкость [2].

Широкое применение тонких пленок, прошедших БТО, охватывает полупроводниковое производство, авиацию и космическую отрасль.

Методы и материалы. В качестве объектов исследования выступили тонкие пленки системы Pt-Ni, прошедшие процедуру быстрого термического отжига (БТО).

Технологический процесс получения образцов включал следующие стадии. На первом этапе на подготовленные кремниевые подложки методом магнетронного распыления (катодного распы-

ления) был нанесен нанокompозитный слой Ni-Pt-V номинальной толщиной 40 нм.

Для формирования покрытия использовалась мишень из тройного сплава состава Ni (77 мас. %) – Pt (18 мас. %) – V (5 мас. %). Осаждение проводилось в камере с контролируемой аргонной атмосферой (уровень чистоты газа 99,993 %) при рабочем давлении 0,8 Па. Эксперименты были выполнены на установке 01НИ-7-015. Режимы разряда: мощность – 1,0 кВт, что соответствовало плотности мощности порядка 2,7 Вт/см² при напряжении смещения 300 В.

В работе использовались подложки, представляющие собой многослойные структуры на базе монокристаллического кремния р-типа проводимости с кристаллографической ориентацией поверхности (111) и низким удельным сопротивлением 0,005 Ом·см.

На данную основу был предварительно нанесен эпитаксиальный слой кремния n-типа, легированного фосфором, толщиной 5 мкм и сопротивлением 0,5 Ом·см.

На следующем этапе образцы подверглись БТО на системе JetFirst 100 (Jipelec Qualiflow,

France) в азотной среде. Отжиг выполнялся в режиме термического баланса в течение 7 секунд; нагрев осуществлялся за счет облучения обратной стороны подложки световым потоком от кварцевых галогенных ламп постоянной мощности. Температурный режим на лицевой поверхности образцов контролировался с точностью $\pm 0,5$ °C и варьировался в интервале от 350 до 500 °C.

Удельное сопротивление измеряли с использованием прецизионного измерительного комплекса B1500 компании Agilent (США), оснащенного зондовой станцией Summit 11000 AP от Cascade, которая позволяет проводить измерения параметров полупроводниковых структур на пластине.

Высоту барьера Шоттки рассчитывали по вольтамперной характеристике (ВАХ) методом экспоненциальной аппроксимации начального участка прямой ВАХ диода Шоттки с последующим вычислением по формуле [3].

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 показана зависимость удельного сопротивления пленок Pt-Ni от температуры быстрого термического отжига (БТО).

При БТО при температуре 200 °C для пленок Ni-Pt-V наблюдалось существенное уменьшение удельного сопротивления с 85 мкОм·см у исходных образцов до 50 мкОм·см. Напротив, пленки Ni и Pt показывали рост сопротивления, обусловленный процессом перекристаллизации.

Таблица 1 – Зависимость удельного сопротивления пленок от температуры БТО

Температура БТО, °C	Удельное сопротивление, мкОм·см		
	Ni	Pt	Ni-Pt-V
исх. образец	15,0	15,5	85,0
200	27,6	16,2	50,3
250	27,5	20,8	51,3
300	24,3	35,1	45,6
350	16,7	23,1	39,8
400	15,2	25,7	25,9
450	15,7	27,7	23,7
500	16,4	28,0	24,2
550	17,5	28,3	26,0

На первой стадии быстрого термического отжига (200–250 °C) отмечается незначительный рост удельного электрического сопротивления в пленках Pt-Ni-V и Ni (с 50 до 53 и с 26 до 28 мкОм·см соответственно). Данное явление служит индикатором начала фазообразования и повышения степени гомогенности структуры пленок [4, 5].

При дальнейшем нагреве в интервале 300–350 °C зафиксировано снижение сопротивления для всех исследованных пленочных систем. В высокотемпературной области отжига (400–550 °C) для пленок Ni-Pt-V наблюдается плавное увеличение удельного сопротивления от 26 до 28 мкОм·см.

Этот рост обусловлен утолщением межзеренных границ в структуре Pt-Ni, что приводит к усилению рассеяния носителей заряда на этих дефектах

кристаллической решетки. Для пленок Ni и Pt также зафиксирован незначительный рост сопротивления.

Анализ данных таблицы 2 демонстрирует различное влияние БТО на высоту барьера Шоттки для трех исследуемых материалов: Ni, Pt и сплава Ni-Pt-V. В то время как барьеры на основе чистых металлов показывают высокую стабильность, барьер сплава Ni-Pt-V претерпевает более существенные изменения, что, по-видимому, указывает на активные структурные преобразования в его приконтактной области.

Таблица 2 – Зависимость высоты барьера Шоттки от температуры БТО

Температура БТО, °C	Высота барьера Шоттки, В		
	Ni	Pt	Ni-Pt-V
400	0,63	0,79	0,66
450	0,64	0,80	0,71
500	0,62	0,80	0,71
550	0,63	0,83	0,64

При температурах БТО до 450 °C отмечается увеличение высоты барьера Шоттки для всех образцов. Для пленок Ni-Pt-V барьер возрастает до 0,71 В, что может свидетельствовать о присутствии фазы Pt-Ni. В диапазоне 450–500 °C наблюдаются наивысшие значения барьера Шоттки: для Ni-Pt-V до 0,71 В, для Pt – до 0,8 В. В то же время пленки Ni в этом интервале показывают наименьшие значения.

При повышении температуры БТО до 550 °C высота барьера Шоттки для Ni-Pt-V существенно снижается, что связано, по-видимому, с перестройкой кристаллической структуры, а для пленок чистых металлов – продолжает увеличиваться.

Заключение. Проведенные исследования показали, что с повышением температуры БТО в интервале 400–500 °C удельное сопротивление всех исследуемых пленок возрастает, в то время как изменения высоты барьера Шоттки для Ni, Pt и сплава Ni-Pt-V различны.

Литература

1. Пилипенко, В. А. Быстрые термообработки в технологии СБИС / В. А. Пилипенко. – Мн.: БГУ, 2004. – 531 с.
2. Microstructure and Properties of Thin-Film Submicrostructures Obtained by Rapid Thermal Treatment of Nickel Films on Silicon / V. Lapitskaya, R. Trukhan, T. Kuznetsova [et al.] // Surfaces. – 2024. – Vol. 7, № 2. – P. 196–207.
3. Соловьев, Я. А. Влияние условий быстрой термической обработки на электрофизические свойства тонких пленок хрома на кремнии / Я. А. Соловьев, В. А. Пилипенко // Доклады БГУИР. – 2019. – № 7–8. – С. 157–164.
4. Соловьев, Я. А. Особенности фазовых превращений в системе NiVPT Si при ступенчатом стационарном отжиге / Я. А. Соловьев, А. С. Турцевич, А. М. Чапланов [и др.] // Известия РАН. – 2015. – Т. 19, № 11. – С. 1543–1548.
5. Влияние быстрой термической обработки на микроструктуру и свойства слоев силицидов Pt-Ni / В. А. Лапицкая, А. А. Насевич, М. И. Довгаль [и др.] // Приборостроение-2024: мат. 17-й Междунар. науч.-техн. конф. – Мн.: Интегралполиграф, 2024. – С. 403–404.