

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS
OF THE STUDY OF CLUSTERS,
NANOSTRUCTURES AND
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY
IZUČENIÂ KLASTEROV,
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 11

ТВЕРЬ 2019

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

<https://www.physchemaspects.ru>

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2019. – Вып. 11. – 680 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials

Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučeniâ klasterov, nanostruktur i nanomaterialov

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2019

© Тверской государственнй университет, 2019

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 532.613:669.154

Краткое сообщение

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СОСТОЯНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Cr + Ni НА КРЕМНИИ

О.Г. Ашхотов, И.Б. Ашхотова, М.А. Алероев, Д.А. Крымшохалова
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова»

360004, Россия, Кабардино-Балкарская Республика, Нальчик, ул. Чернышевского, 173
oandi@rambler.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.535

Аннотация: С использованием оже-электронной спектроскопии проведено экспериментальное исследование системы $Si - Cr - Ni$. Сравнительный анализ результатов до и после воздействия термоудара на границах раздела показал влияние температуры на распределение элементов по толщине напыленных слоев. Увеличение количества термоударов приводит к тому, что на поверхности кремниевой подложки остается никель, а хром диффундирует в кремний.

Ключевые слова: анализ, подложка, распределение, спектр, система, монохроматичность, энергоанализатор, термоудар, электронная пушка, температура, диффузия, адгезия.

1. Введение

Известно [1], что для обеспечения посадки кристаллов в мощных транзисторных структурах на подложку с обратной стороны структуры напыляют слой хрома, на который наносится никель. Эти структуры в процессе сборки и эксплуатации обычно подвергаются воздействию сравнительно высоких температур (~500 K). Поэтому в настоящей работе проведено исследование влияния термоудара на адгезию и распределение Cr и Ni по глубине структуры.

2. Методы исследования

Как известно [2, 3], эффективным методом изучения сегрегации на границах зерен в сплавах является оже-спектроскопия. Особенно актуальны подобные методы в многокомпонентных системах на границах зерен где могут возникать значительные локальные изменения состава (сегрегация). Метод базируется на анализе спектра вторичной электронной эмиссии. Оже-электроны на спектре могут быть обнаружены в виде пиков на первой или второй производной кривой задержки. Энергетическое положение этих пиков для каждого конкретного материала является специфическим. Схема установки, использовавшейся в работе приведена в [4]. Источником возбуждения служила электронная пушка, позволяющая формировать электронный пучок в интервале энергий от 10 до 3000 эВ. Пушка обеспечивала относительно высокую монохроматичность (ширина

0,1–1 эВ на 0,7 высоты) [5]. В установке использовался энергоанализатор типа «цилиндрическое зеркало» [6, 7].

3. Результаты и обсуждение

В работе с помощью оже-электронной спектроскопии проведено сравнительное экспериментальное исследование системы $Si-Cr-Ni$. Слой хрома составлял 0,05 мкм, а никеля – 0,2–0,25 мкм. Были изучены профили концентрационного распределения Cr и Ni на кремниевой подложке сразу после их напыления и после термоудара при температуре 500 К.

На рис. 1 представлены профили распределения Cr и Ni на кремниевой подложке сразу после их напыления. Затем структуры подвергались термоудару при температуре 500 ± 10 К в течение 1 мин. Сравнительный анализ результатов до и после воздействия термоудара на границах раздела показал влияние температуры на распределение элементов по толщине напыленных слоев.

Результаты, полученные после одного и трех циклов термоударов представлены на рис. 2 и 3 соответственно. По данным рис. 1–3 видно, что увеличение количества термоударов приводит к тому, что на поверхности кремниевой подложки остается никель, а хром диффундирует в кремний. Этот эффект, по-видимому, можно объяснить тем, что коэффициент диффузии хрома выше чем аналогичный параметр для никеля. Результаты проверки адгезии изученной системы показали, что по мере увеличения количества термоударов адгезия ухудшается.

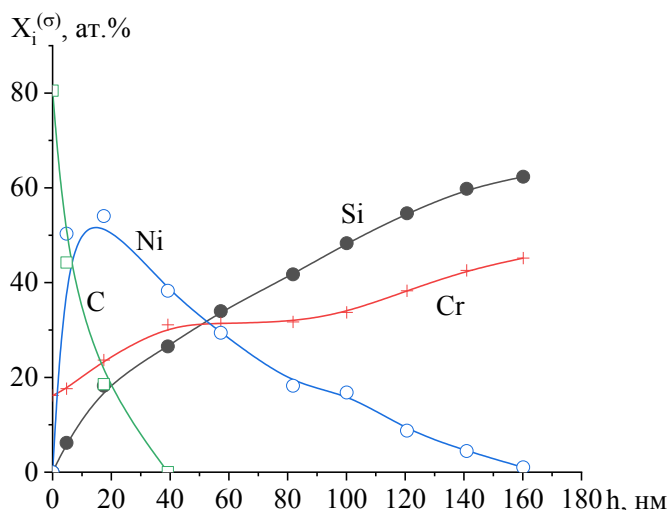


Рис. 1. Профили концентрационного распределения элементов по глубине для системы $Si-Cr-Ni$, полученные сразу после напыления образца.

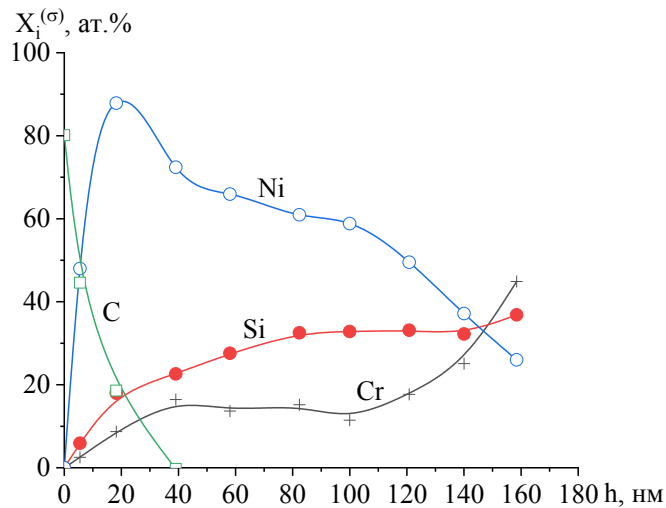


Рис. 2. Профили концентрационного распределения элементов по глубине для системы $Si-Cr-Ni$, полученные после одного цикла термоудара.

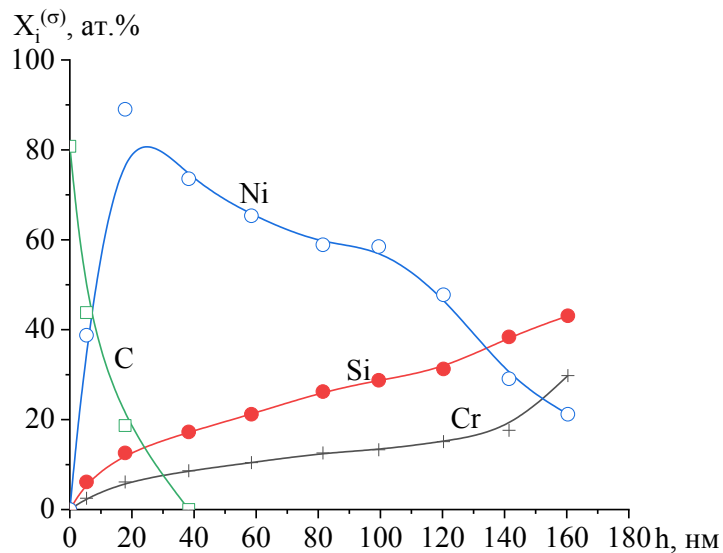


Рис. 3. Профили концентрационного распределения элементов по глубине для системы $Si-Cr-Ni$, полученные после трех циклов термоударов.

4. Заключение

В данной работе методом электронной оже-спектроскопии построены профили концентрационного распределения компонентов по глубине в системе $Cr+Ni$ на кремнии. Анализ профилей показал, что наблюдается зависимость состава подповерхностных слоев от температурного воздействия. Термоудары приводят к изменению состава пленок $Ni-Cr$, что связано с различием коэффициента диффузии хрома, который выше аналогичного параметра для никеля. Также показано, что с увеличением количества термоударов адгезия ухудшается. Полученные результаты можно использовать при разработке структур, обеспечивающих посадку полупроводниковых кристаллов на подложку в мощных транзисторных

структурах, подвергающихся воздействию высоких температур [8].

Библиографический список:

1. **Данилина, Т.И.** Технологические процессы микроэлектроники: Технология ЭВС – 1: Учебное пособие / Т.И. Данилина, К.И. Смирнова. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2005. – 223 с.
2. **Адамчук, В.К.** Оже-электронная спектроскопия границ раздела благородный металл-кремний; прямая и обратная системы / В.К. Адамчук, И.В. Любинецкий // Поверхность. Физика, химия, механика. –1989. – № 5. – С. 104-109.
3. **Бриггс, Д.** Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской и фотоэлектронной спектроскопии / Д. Бриггс, М.П. Сих. – М.: Мир, 1987. – 600 с.
4. **Ашхотов, О.Г.** Автоматизированная установка диагностики поверхности / О.Г. Ашхотов, С.Ю. Мусаев, М.В. Здравомыслов, В.Х. Шериев, А.А. Шебзухов; Кабард.-Балкар. ун-т. – Нальчик, 1994. – 18 с.: ил. – Библиогр.: 6 назв. – Деп. в ВИНТИ 17.06.1994 № 1517-В94. – Текст : непосредственный.
5. **Ashkhotov, O.G.** Study of surface segregation and surface tension of *Sn–Ga* solution using AES and sessile drop methods / O.G. Ashkhotov, M.V. Zdravomyslov // Surface Science. – 1995. – V. 338. – I. 1-3. – P. 279-282.
6. **Зашквара, В.В.** Электрический энергоанализатор на основе цилиндрического зеркала / В.В. Зашквара, В.С. Редькин, В.Е. Масыгин, М.Г. Маратканова. // Известия АН Каз. ССР. Серия Физико-математическая. – 1979. – № 6. – С. 89-90.
7. **Зашквара, В.В.** Электростатический энергоанализатор типа цилиндрического зеркала и применение его в некоторых исследованиях : автореферат дис. ... докт. физ.-мат. наук: 01.04.04 / Зашквара Владимир Васильевич. – Харьков: Харьк. гос. ун-т им. А. М. Горького, 1974. – 52 с.
8. **Готра, З.Ю.** Технология микроэлектронных устройств: Справочник / З.Ю. Готра. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.

References:

1. **Danilina, T.I.** Microelectronics processes: Technology ECF – 1: Study guide / T.I. Danilina, K.I. Smirnova. – Tomsk: Tomskij mezhvuzovskij centr distancionnogo obrazovaniya, 2005. – 223 p. (In Russian).
2. **Adamchuk, V.K.** Auger electron spectroscopy of noble metal-silicon interfaces; direct and inverse systems / V.K. Adamchuk, I.V. Lyubineckij // Poverhnost'. Fizika, himiya, mekhanika. –1989. – № 5. – P. 104-109. (In Russian).
3. **Briggs, D.** Practical surface analysis by Auger and X-ray photoelectron spectroscopy / D. Briggs, M.P. Sih. – M.: Mir, 1987. – 600 p. (In Russian).
4. **Ashkhotov, O.G.** Automated surface diagnostic installation / O.G. Ashkhotov, S.Yu. Musaev, M.V. Zdravomyslov, V.Kh. Sheriev, A.A. Shebzukhov; Kabard.-Balkar. un-t. – Nal'chik, 1994. – 18 p.: il. – Bibliogr.: 6 nazv. – Dep. v VINITI 17.06.1994 № 1517-V94. – Текст : neposredstvennyj. (In Russian).
6. **Zashkvara, V.V.** Electric energy analyzer based on a cylindrical mirror / V.V. Zashkvara, V.S. Red'kin, V.E. Masyagin, M.G. Maratkanova. // Izvestiya AN Kaz. SSR. Seriya Fiziko-matematicheskaya. – 1979. – № 6. – P. 89-90. (In Russian).

7. **Zashkvara, V.V.** Electrostatic energy analyzer like a cylindrical mirror and its application in some investigations : avtoreferat dis. ... dokt. fiz.-mat. nauk: 01.04.04 / Zashkvara Vladimir Vasil'evich. – Har'kov: Har'k. gos. un-t im. A. M. Gor'kogo, 1974. – 52 p. (In Russian).

8. **Gotra, Z.Yu.** Microelectronic device technology: A guide / Z.Yu. Gotra. – M.: Radio i svyaz', 1991. – 528 p. (In Russian).

Short communication

**INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE CONDITION OF
THIN-FILM SYSTEM Cr + Ni ON SILICON**

O.G. Ashkhotov, I.B. Ashkhotova, M.A. Aleroev, D.A. Krimshokalova

Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia

DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.535

Abstract: Using Auger electron spectroscopy, an experimental study of the Si – Cr – Ni system was carried out. A comparative analysis of the results before and after exposure to thermal shock at the interfaces showed the effect of temperature on the distribution of elements over the thickness of the deposited layers. An increase in the number of thermal shocks leads to the fact that nickel remains on the surface of the silicon substrate, and chromium diffuses into silicon.

Keywords: analysis, substrate, distribution, spectrum, system, monochromaticity, energy analyzer, thermal shock, electron gun, temperature, diffusion, adhesion.

Ашхотов Олег Газизович – д.ф.-м.н., профессор кафедры электроники и информационных технологий института информатики, электроники и компьютерных технологий, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Ашхотова Ирина Борисовна – к.т.н., доцент кафедры электроники и информационных технологий института информатики, электроники и компьютерных технологий, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Алероев Муслим Ахметханович – аспирант кафедры электроники и информационных технологий института информатики, электроники и компьютерных технологий, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Крымшюкалова Джульетта Абугалиевна – к.ф.-м.н., инженер кафедры электроники и информационных технологий института информатики, электроники и компьютерных технологий, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Oleg G. Ashkhotov – Dr. Sc., Professor, Department of Electronics and Information Technologies, Institute of Informatics, Electronics and Computer Technologies, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

Irina B. Ashkhotova – Ph. D., Docent, Department of Electronics and Information Technologies, Institute of Informatics, Electronics and Computer Technologies, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

Muslim A. Aleroev – postgraduate student, Department of Electronics and Information Technologies, Institute of Informatics, Electronics and Computer Technologies, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

Djulietta A. Krimshokalova – Ph. D., Engineer, Department of Electronics and Information Technologies, Institute of Informatics, Electronics and Computer Technologies, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

Поступила в редакцию/received: 10.08.2019; после рецензирования/reviced: 19.09.2019; принята/accepted 01.11.2019.