

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.315.592

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-3-6-13

Оригинальная статья /Original Paper

Улучшение тепловых свойств прибора в процессе формирования контакта
с коллекторной областью кремниевого транзистора

Э. Казалиева, А.Р. Шахмаева

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является улучшение тепловых свойств прибора за счет надежности контакта кристалла полупроводникового транзистора к корпусу и воспроизводимости технологического процесса. **Метод.** Применен способ получения многослойной металлизации обратной стороны кристалла и выбраны наиболее оптимальные технологические режимы его формирования. Проведена проверка параметров надежности присоединения кристалла к корпусу транзистора. **Результат.** Получена послойная металлизация, которая обеспечивает получение прочного контакта с коллекторной областью транзистора и надежную посадку кристалла на основание корпуса. Контроль технологических операций показал 100% распределение припоя по поверхности кристалла, отсутствие пор в припое, улучшение выходных характеристик прибора и повышение процента выходных годных транзисторов. **Вывод.** Для создания надежного контакта и отвода тепла от коллекторного перехода силовых полупроводниковых транзисторов на обратной стороне пластин необходимо сформировать металлизацию за один технологический цикл, состоящую из четырех слоев металлов (Cr-Ni-Sn-Ag). Техническим результатом исследований является повышения качества посадки за счет получения равномерного распределения слоя металлов Cr-Ni-Sn-Ag в едином технологическом цикле.

Ключевые слова: металлизация, оптимизация, припой, полупроводниковый транзистор, кристалл, напыление, контакт, коллектор, надежность, корпус

Для цитирования: Э. Казалиева, А.Р. Шахмаева. Улучшение тепловых свойств прибора в процессе формирования контакта с коллекторной областью кремниевого транзистора. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022;49(3):6-13. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-3-6-13

**Improving the thermal properties of the device in the process of forming
a contact with the collector region of a silicon transistor**

E. Kazaliev, A.R. Shakhmaeva

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The objective of the study is to increase the reliability of the contact of the semiconductor transistor crystal to the body and the reproducibility of the technological process. **Method.** A method for obtaining multilayer metallization of the reverse side of the crystal has been developed and the most optimal technological modes of its formation have been selected. The parameters of the reliability of the connection of the crystal to the body of the transistor were checked. **Results.** Layer-by-layer metallization has been obtained, which provides a strong contact to the collector region of the transistor and a reliable fit of the crystal to the base of the case. The control of technological operations showed 100% distribution of solder over the surface of the crystal, the absence of pores in the solder, the improvement in the output characteristics of the device and the increase in the percentage of output usable transistors. **Conclusion.** An analysis of the experimental results showed that in order to create a reliable contact and remove heat from the collector junction of power semiconduc-

tor transistors on the reverse side of the plates, it is necessary to form a metallization in one technological cycle, consisting of four layers of metals (Cr-Ni-Sn-Ag). The technical result of the research is to improve the quality of fit by obtaining a uniform distribution of the layer of Cr-Ni-Sn-Ag metals in a single technological cycle.

Keywords: metallization, optimization, solder, semiconductor transistor, crystal, deposition, contact, collector, reliability, package

For citation: E. Kazalieva, A.R. Shakhmaeva. Improving the thermal properties of the device in the process of forming a contact with the collector region of a silicon transistor. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2022; 49 (3): 6-13. DOI: 10.21822 /2073-6185-2022-49-3-6-13

Введение. В технологии производства электротехники широко используются многослойные тонкопленочные системы со слоями микронных и субмикронных толщин, полученные вакуумным, магнетронным или электролитическим осаждением. Среди них никель - золото или серебросодержащие системы можно выделить в особую многочисленную группу, так как антикоррозийные свойства драгметаллов и их высокая электропроводность обуславливают широкое применение этих металлов в качестве слоя, выполняющего функции проводника. При этом слой никеля используется в качестве диффузионного барьера между адгезионным слоем и драгметаллом.

Стабильность свойств таких слоев в полной мере не изучена. Исследования стабильности системы Cr-Ni-Cu-Au с толщинами соответственно – 0,04-7,0-1,0-3,0 (мкм), полученная электролитическим осаждением, показали, что никель не является эффективным барьером для диффузии меди в слой золота и при повышенных температурах (более 600 К) система остается стабильной лишь в течение нескольких минут [1, 2, 8-9, 13].

В производстве полупроводниковых приборов с повышением требований к точности и надежности приборов ужесточаются требования к контактам. Без знания функциональных свойств покрытий и их зависимости от различных факторов, от условий их осаждения трудно прогнозировать надежность контакта.

Важным этапом в технологическом процессе полупроводниковых приборов является контроль параметров тонких металлических пленок – скорости напыления, толщины, ее равномерности и поверхностного сопротивления.

При нанесении тонких пленок очень важно соблюдать электронно-вакуумную гигиену. Загрязнения в виде примесных химически активных газов, попадающих на поверхность обрабатываемых подложек, могут существенно изменять структуру и электрофизические свойства наносимых слоев. Оседание мельчайших частиц пыли может привести к необратимому браку – обрывам и замыканиям межсоединений. Поэтому оборудование для нанесения тонких пленок устанавливают в чистых комнатах.

Наиболее практически существенная сторона взаимодействия пленки с материалом подложки – это адгезия. Именно, адгезия определяет возможность применения тех или иных материалов в пленочной структуре, и при отсутствии надежной адгезии пленка может отслаиваться при дальнейшем прохождении структур по технологическому циклу либо при эксплуатации [3,6,10,17].

Постановка задачи. На базе научно-исследовательской лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств при Дагестанском государственном техническом университете были проведены экспериментальные работы по посадке мощных транзисторов с различной технологией обработки и напыления обратной стороны пластин.

Анализ статистических данных показал зависимость брака транзисторных структур по электрическим параметрам от технологии обработки и напыления обратной стороны, а также от технологии посадки кристалла на основание корпуса ТО-218.

Анализ транзисторов, вышедших из строя в результате вторичного пробоя, показал, что он появляется из-за концентрации тока в пределах малых областей активной площади прибора, возникает проблема равномерного токораспределения по структуре и отвода выделяющего тепло в транзисторах.

Задачей исследований является разработка оптимальной технологии формирования слоя Cr-Ni-Sn-Ag и посадки кристалла на основание корпуса, обеспечивающих надежную работу полупроводникового прибора [4,18-20].

Методы исследования. Исследован способ соединения полупроводникового кристалла с кристаллодержателем, сущность которого заключается в напылении на обратную сторону пластин слоя металлов Cr-Ni-Sn-Ag. Для дальнейшего контакта между поверхностями кристалла и кристаллодержателя размещают припойную прокладку оловянно-свинцовую, нагревают детали до формирования паяного соединения.

Данный метод обеспечивает качество паяного соединения и термостабилизацию полупроводниковых приборов, увеличивая надежность работы полупроводниковых приборов.

Обсуждение результатов. Рассмотрены способы формирования многослойной металлизации обратной стороны кристалла и разработана оптимальная технология четырехслойной металлизации обратной стороны кремниевых пластин, обеспечивающая высокую надежность работы полупроводникового прибора [11-12].

Одним из параметров, контролируемых при получении контактов, является адгезия. Высокой адгезией к полупроводниковым материалам обладают переходные металлы. К ним относятся хром, титан, молибден, железо. Они обладают высокой адгезией. Адгезия еще увеличивается при напылении на подогретую подложку.

Однако материал напыляемой пленки не должен диффундировать внутрь полупроводника как дополнительная примесь. Выше перечисленные переходные металлы применяются для создания надежной металлизации, при этом они еще имеют высокое удельное сопротивление. Каждый выбранный материал может выполнять функции: защитные, барьерные, припойные, адгезионные и т.д.

В процессе производства полупроводниковых приборов после металлизации обычно проводят посадку кристалла, в случае если металлизация сформулирована даже из примесей нескольких металлов, включая благородные, коррозия паяного соединения может развиваться быстрее и разрушает контакт даже без воздействия агрессивных сред [15-16].

Поэтому барьерным слоем выбирают никель. По подслою никеля обычно применяют покрытие золота и серебра. В некоторых случаях многие покрытия быстро теряют паяемость при неблагоприятных условиях хранения и загрязненности. К атмосферным воздействиям устойчивы покрытия из олова, сплава золото-никель. Однако, покрытие из золота экономически невыгодно [14, 21-22].

На границе припой - золото на приборе могут появляться зоны хрупкого покрытия, разрушающегося при эксплуатации приборов.

Покрyтия серебром могут растворяться в припое с образованием Ag_3Sn . В настоящее время считается, что добавка в припой серебра способствует повышению прочности паяных соединений.

Для получения прочного, надежного монтажа полупроводникового кристалла необходимо создать на пластине адгезивного, барьерного, защитного, хорошо взаимодействующего с припоем слоя.

В проведенных экспериментальных работах исследования технологических режимов напыления металлов на обратную сторону пластин привели к определенным числовым значениям толщин каждого слоя более оптимальным, с точки зрения качества монтажа кристалла [1, 5].

Одним из первых слоев послойной металлизации обратной стороны пластин нами выбран хром, необходимый для получения прочной механической адгезии с кремнием. Толщина

пленки хрома может составлять $650 \pm 50 \text{ \AA}$. Исследования показали, что допустимая толщина пленки хрома должна быть менее 300 \AA , иначе возможна неравномерность толщины пленки на различных участках. Напротив, наращивание пленки более 700 \AA ухудшает электрические и теплопроводные характеристики кремниевых структур.

Вторым слоем послойной металлизации выбран слой никеля, пленки которой используются для покрытия обратной стороны пластин, характеризующиеся высоким уровнем механических напряжений.

При получении хорошей адгезии наносимой пленки необходимо выполнение требований по высокой чистоте обрабатываемых поверхностей пластин относительно углеводородных загрязнений на границах раздела кремний – хром, пленка хрома – пленка никеля. А для выполнения условий хорошей смачиваемости на границе пленка никеля – пленка олова, необходима высокая чистота этой границы. Эти условия являются наиболее критичными для четырехслойной металлизации.

Толщина пленки никеля составляет $5500 \pm 500 \text{ \AA}$. Напыление никеля происходит при низком вакууме порядка 10^{-5} Па, так как никель хорошо окисляется при обычном давлении, после окисления его восстановить невозможно.

Третьим слоем выбрано олово, толщина слоя которого находится в пределах $700 \pm 250 \text{ \AA}$. Напыление олово необходимо для исключения окисления пленки никеля при проникновении кислорода через пленку серебра. Олово и серебро после посадки кристалла расплавляются, и припой будет контактировать с никелем.

Четвертым слоем выбрано серебро, с толщиной $4500 \pm 500 \text{ \AA}$.

Полученное сочетание напыляемых слоев обеспечивает получение прочного омического контакта к коллекторной области при посадке кристалла на основание, которое приводит к уменьшению сопротивления омического перехода, что увеличивает процент выхода годных приборов.

Итак, для создания надежного контакта и отвода тепла от коллекторного перехода мощных транзисторов на обратной стороне пластин необходимо сформировать металлизацию за один технологический цикл, состоящую из четырех слоев.

Толщины пленок металлов должны соответствовать следующим значениям: первый слой хром с толщиной $650 \pm 50 \text{ \AA}$, второй слой никель с толщиной $5500 \pm 500 \text{ \AA}$, третий слой олово с толщиной $700 \pm 250 \text{ \AA}$, четвертый слой серебро с толщиной $4500 \pm 500 \text{ \AA}$.

Измерение толщины пленки металла проводился на профилометре марки Alpha-Step.

Основными контролируемыми параметрами при проведении экспериментов на определение оптимальных технологических режимов на получение заданных толщин являются: мощность катода, скорость движения полета, давление вакуума в камере.

Толщина напыляемой пленки зависит от задаваемых значений мощности и скорости движения полета оборудования.

Эксперимент проводили на установке «LEYBOLD AG Z-600». Время предварительной очистки пластин в блоке плазмотравления устанавливаем на 1 мин.

Расход аргона $-185 - 220 \text{ см}^3/\text{ч}$, давление вакуума в камере 5×10^{-3} мбар.

На установке были установлены соответствующие катоды, рассчитанные согласно техническому описанию на следующие мощности: из хрома – 2 кВт, из никеля – 10 кВт, из олова – 2 кВт, из серебра – 4 кВт.

Нагрузка катода на полную мощность нежелательна из причины долговечности оборудования, поэтому значение мощности ограничиваем до 50 % для катодов из хрома, никеля, серебра и до 85 % для катода из никеля, в связи с большой величиной толщины пленки никеля.

Определяем зависимость толщины напыляемой пленки от мощности катода и скорости движения полета для каждого металла (рис. 1- 4).

Для получения качественного напыления при минимальных затратах времени нужно выбрать такой интервал значений, чтобы значение мощности не превышало бы 50% от максимально возможной из соображений долговечности оборудования.

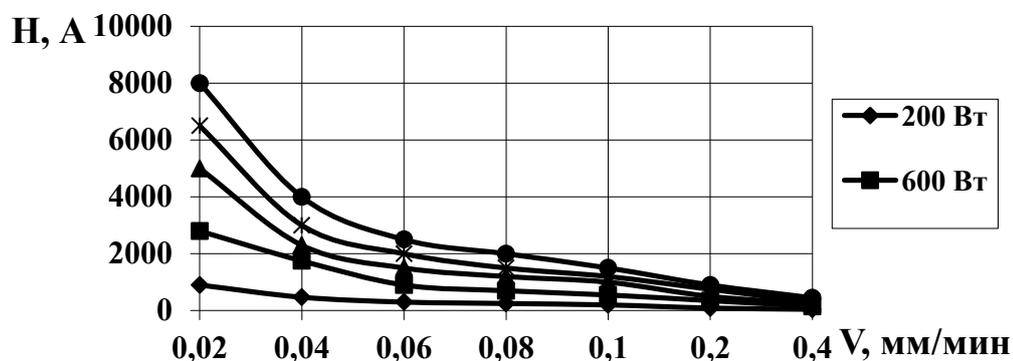


Рис. 1. Зависимость толщины пленки хрома от скорости движения полета при различной мощности катода

Fig. 1. Dependence of the chromium film thickness on the flight speed at different cathode power

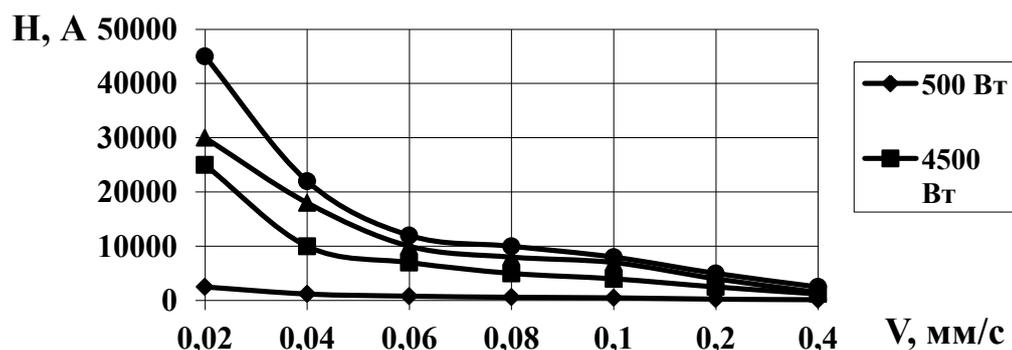


Рис. 2. Зависимость толщины пленки никеля от скорости движения полета при различной мощности катода

Fig. 2. Dependence of the nickel film thickness on the flight speed at different cathode power

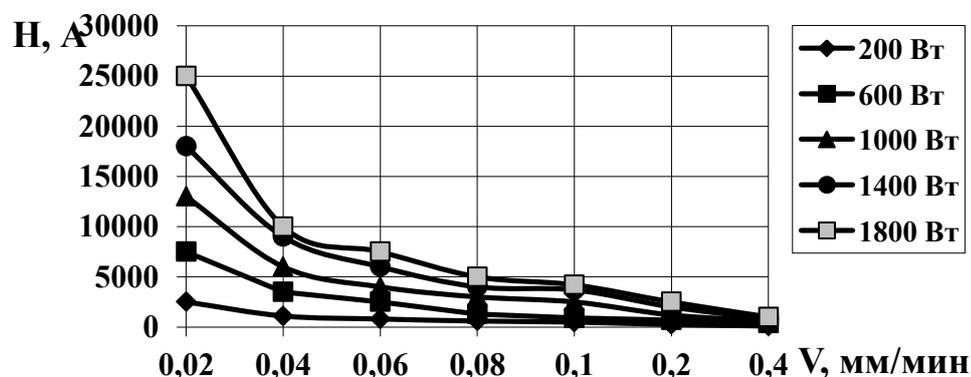


Рис. 3. Зависимость толщины пленки олова от скорости движения полета при различной мощности катода

Fig. 3. Dependence of the tin film thickness on the flight speed at different cathode power

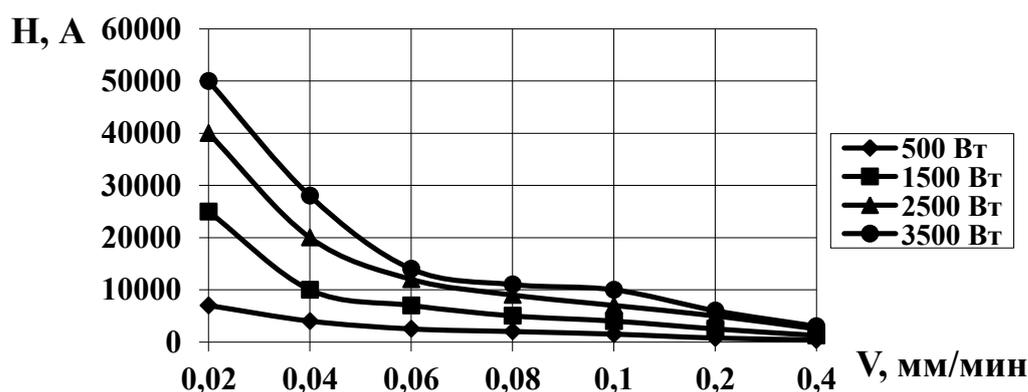


Рис. 4. Зависимость толщины пленки серебра от скорости движения полета при различной мощности катода

Fig. 4. Dependence of the silver film thickness on the flight speed at different cathode power

В табл. 1 представлены оптимальные варианты напыления четырех металлов хром-никель-олово-серебро в едином технологическом цикле для формирования контакта к коллекторной области при изготовлении мощных транзисторов.

Таблица 1. Оптимальные варианты напыления металлов (Cr-Ni-Sn-Ag)

Table 1. Optimal options for metal deposition (Cr-Ni-Sn-Ag)

Слой Layer	Толщина (Å) Thickness	Максимальная мощность катодов (кВт) Maximum cathode power		Скорость движения полета (мм/мин) Speed movements flight
		Задаваемая, Вт Asked	% от макс. as % of max.	
Хром Chromium	650±50	600	30	0,1
Никель Nickel	5500±500	4500	45	0,08
Олово Tin	700±250	600	30	0,2
Серебро Silver	4500±500	1500	37,5	0,1

Вывод. Исходя из полученных данных, можно сформулировать следующий вывод: толщина пленки металла зависит от задаваемых значений мощности катода и скорости движения полета. Чем больше мощность катода и меньше скорость движения полета, тем толщина пленки возрастает и, наоборот, чем меньше мощность катода и больше скорость движения полета, тем толщина пленки металла уменьшается.

Результаты экспериментальных работ в ходе исследования показали, что для создания надежного омического контакта и отвода тепла от коллекторного перехода силовых полупроводниковых транзисторов на обратной стороне пластин необходимо сформировать металлизацию за один технологический цикл, состоящую из четырех слоев металлов. Техническим результатом исследований является повышения качества посадки за счет получения равномерно распределенного слоя Cr-Ni-Sn-Ag в едином технологическом цикле.

Библиографический список:

1. Аносов В.С., Гомзилов Д.В., Ичетовкин М.И., Сейдман Л.А., Тычкин Р.И. Исследование процессов пайки кремниевых кристаллов мощных транзисторов в их корпусе // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2017. Т. 20. № 1. С. 51-59.
2. Ануфриев Л.П., Емельянов В.А., Кушнер Л.К. и др. // Повышение качества сборки и монтажа интегральных схем // Электронная промышленность. 1990. № 5. С. 11-12.
3. Аронов В.Л., Федотов Я.А. // Испытание и исследование полупроводниковых приборов // Учеб. пособие для специальностей полупроводниковой техники вузов. М.: Высш. шк., 1975. С. 325.
4. Горлов М.И., Ануфриев Л.П., Бордюжа О.Л. Обеспечение и повышение надежности полупроводниковых приборов и интегральных схем в процессе серийного производства. - Минск: Изд-во "Интеграл", 1997. С.390.

5. Громов Д.Г., Мочалов А.И.// Материалы и процессы формирования систем металлизации кремниевых интегральных схем// Уч. пособие. М.: МИЭТ, 2006. С. 180.
6. Зенин В.В., Колычев А.И., Мешеряков М.В., Спиридонов Б.А.// Никелевые покрытия траверсов корпусов для монтажа изделий электронной техники// Физическое металловедение: Сб. науч. тр. Липецк: Изд-во ЛЭГИ, 2000. С. 111-117.
7. Зенин В.В., Сегал Ю.Е., Бокарев Д.И.// Пайка кристаллов в изделиях силовой электроники // Интеллектуальные информационные системы: Тез. докл. науч. техн. конф., 23-25 июня 1999 г. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999. С. 221-222.
8. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р. Транзисторные структуры силовой электроники. СПб. Политехника, 2011. С. 125.
9. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р.//Экспериментальное исследование и оптимизация технологического процесса формирования контакта к коллекторной области кремниевых транзисторов// Базовые процессы формирования активных областей структуры мощных кремниевых транзисторов. Спб.: Политехника, 2009. С. 11.
10. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Юсуфов Ш.А., Казалиева Э. //Метод формирования контактного слоя титан-германий для термостабилизации транзисторов// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (4): 49-56. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-49-56/
11. Казалиева Э.// Металлизация обратной стороны кремниевой пластины// Сб. трудов по материалам IV Международного конкурса научно-исследовательских работ. Фундаментальные и прикладные аспекты развития современной науки. Уфа, "НИЦ Вестник науки". 2021. С. 35-38.
12. Казалиева Э.// Посадка кристаллов транзистора на основание корпуса// Сб. трудов по материалам XXIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ЛОМОНОСОВ-2022». Москва: МГУ, 2022.
13. Климачев И.И., Литвинова Т.В., Сидоренко С.И. Исследование стабильности системы Cr-Cu-Ni-Au, со слоями, полупроводниками электролитическим осаждением. Микроэлектроника. 1994, Т.23. Вып.2. С. 91-95.
14. Лашко С.В., Лашко Н.Ф. Пайка металлов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1988.
15. Патент РФ № 2375787. Способ посадки кремниевое кристалла на основание корпуса/ Т.А. Исмаилов, Б.А. Шангереева, А.Р. Шахмаева. Опубл.10.12.2009. Бил. №34.
16. Патент РФ № 2442243. Транзистор на основе полупроводникового соединения / Ерофеев Е.В., Кагадей В.А., Анищенко Е.В., Арыков В.С., Ишуткин С.В., Носаева К.С. №2 010144198. Заявл. 28.10.2010. Опубл. 10.02.2012.
17. Сегал Ю.Е., Зенин В.В., Фоменко Ю.Л.// Покрyтия контактных поверхностей кристаллов и корпусов ИЭТ // Петербургский журнал электроники. 2000. № 1. С. 45-51.
18. Сенько С.Ф., Белоус А.И., Плебанович В.И.// Способ изготовления системы металлизации кремниевых полупроводниковых приборов. Патент на изобретение RU 2333568 С1, 10.09.2008. Заявка №200614979/28 от 04.12.2006.
19. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь. 1987. С. 464.
20. Шахмаева А.Р. Оптимизация технологии посадки кристалла кремниевое транзистора на основание корпуса // Проектирование и технология электронных средств, 2006. №4. С. 26-27.
21. Ivanova, Yu. A., Ivanou, D.K., Fedotov A.K. et al. Electrochemical deposition of Ni and Cu onto monocrystalline n-Si(100) wafers and into nanopores in Si/SiO₂ template // J. Mater. Sci. 2007. V. 42. P. 9163.
22. Pat. 3785892 US. Method of forming metallization backing for silicon wafer / Terry L.E., Wilson R.W. – 1972.

References:

1. Anosov V.S., Gomzikov D.V., Ichetovkin M.I., Seydman L.A., Tychkin R.I. Issledovaniye protsessov izgotovleniya kremniyevykh kristallov tranzistorov v ikh korpuse. [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Materialy elektronnoy tekhniki] *News of higher educational institutions. Materials of electronic engineering.* 2017; 20(1): 51-59. (In Russ)
2. Anufriyev L.P., Yemel'yanov V.A., Kushner L.K. i dr. Povysheniye kachestva sborki integral'nykh skhem [Elektronnaya promyshlennost'] *Electronics industry* 1990; 5: 11-12. (In Russ)
3. Aronov B.Yu., Fedotov Ya.A. Testing and research of semiconductor devices. Proc. allowance for the specialties of semiconductor technology of universities. *M.: Higher. School* 1975; 325. (In Russ)
4. Gorlov M.I., Anufriev L.P., Bordyuzha O.L. ensuring and improving the reliability of semiconductor and integrated circuits in the process of serial production. Minsk: *Integral Publishing House* 1997; 390.
5. Gromov D.G., Mochalov A.I. Materials and processes of formation of metallization systems for silicon integrated circuits. *Uch. allowance. M.: MIET* 2006; 180. (In Russ)
6. Zenin V.V., Kolychev A.I., Mesheryakov M.V., Spiridonov B.A. Nickel coatings of traverses of housings for mounting electronic products. *Physical metallurgy: Sat. scientific tr. Lipetsk: Izd-vo LEGI* 2000; 111-117. (In Russ)
7. Zenin V.V., Segal Yu.E., Bokarev D.I. Soldering of crystals in power electronics products // Intelligent information systems: Abstracts. report scientific tech. Conf., June 23-25, 1999. Voronezh: *VGTU Publishing House* 1999; 221-222. (In Russ)
8. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R. Transistor structures of power electronics. *St. Petersburg Polytechnic* 2011; 125. (In Russ)
9. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R. Experimental study and optimization of the technological process of forming a contact to the collector region of silicon transistors. Basic processes for the formation of active regions of the structure of high-power silicon transistors. *SPb.: Politekhnik* 2009; 11. (In Russ)
10. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Yusufov Sh.A., Kazalieva E. //Method of forming a titanium-germanium contact layer for thermal stabilization of transistors. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Science.* 2020; 47(4):49-56. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-49-56 (In Russ)
11. Kazalieva E. Metallization of the reverse side of the silicon wafer// Sat. works based on the materials of the IV International competition of scientific research works. Fundamental and applied aspects of the development of modern science. *Ufa, "SIC Bulletin of Science"* 2021;35-38. (In Russ)

12. Kazalieva E. Planting transistor crystals on the base of the case. Sat. works based on the materials of the XXIX International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "LOMONOSOV-2022". Moscow: Moscow State University, 2022. (In Russ)
13. Klimachev I.I., Litvinova T.V., Sidorenko S.I. Study of the stability of the Cr-Cu-Ni-Au system, with layers obtained by electrolytic deposition. *Microelectronics*. 1994; 23(2): 91-95. (In Russ)
14. Lashko S.V., Lashko N.F. Soldering of metals. 4th ed., revised. and additional M.: Mashinostroenie, 1988. (In Russ)
15. Patent of the Russian Federation No. 2375787. Method of planting a silicon crystal on the base of the housing / T.A. Ismailov, B.A. Shangereeva, A.R. Shakhmaev. Published on 10.12.2009. Bill. No. 34. (In Russ)
16. RF patent No. 2442243. Transistor based on a semiconductor compound / Erofeev E.V., Kagadey V.A., Anishchenko E.V., Arykov B.C., Ishutkin S.V., Nosaeva K.S. No. 2 010144198. Appl. 10/28/2010. Published 02/10/2012. (In Russ)
17. Segal Yu.E., Zenin V.V., Fomenko Yu.L. Coatings of contact surfaces of crystals and IET cases. *Petersburg Journal of Electronics*. 2000; 1: 45-51. (In Russ)
18. Senko S.F., Belous A.I., Plebanovich V.I.A method of manufacturing a metallization system for silicon semiconductor devices. Patent for invention RU 2333568 C1, 10.09.2008. Application No. 200614979/28 dated 12/04/2006. (In Russ)
19. Chernyaev V.N. Technology for the production of integrated circuits and microprocessors: Textbook for universities. 2nd ed., revised. and additional M.: *Radio and communication*. 1987; 464. (In Russ)
20. Shakhmaeva A.R. Optimization of the technology of planting a silicon transistor crystal on the base of the case. *Design and technology of electronic means*. 2006; 4: 26-27. (In Russ)
21. Ivanova, Yu. A., Ivanou, D.K., Fedotov A.K. et al. Electrochemical deposition of Ni and Cu onto monocrystalline n-Si(100) wafers and into nanopores in Si/SiO₂ template *J. Mater. sci*. 2007; 42:9163.
22. Pat. 3785892 US. Method of forming metallization backing for silicon wafer. *Terry L.E., Wilson R.W.* 1972.

Сведения об авторах:

Казалиева Эльмира, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники; kazanova.em@mail.ru.

Шахмаева Айшат Расуловна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и общей электротехники; fpk12@mail.ru.

Information about the authors:

Elmira Kazalieva, Post-graduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; kazanova.em@mail.ru.

Aishat R. Shakhmaeva, Cand.Sci. (Technical), Prof., Assoc.Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering. Electrical Engineering; fpk12@mail.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 22.08.2022.

Одобрена после рецензирования/ Revised 10.09.2022.

Принята в печать/Accepted for publication 10.09.2022.