

УДК 53.06

И.А. Зельцер

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АРТЕФАКТЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ КОНТАКТОВ (ГЕРКОНОВ)

Методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа исследованы морфология и элементный состав контактных поверхностей переключающих и замыкающих герконов. Показано, что некоторые виды брака обусловлены аномально высокой концентрацией химически активных элементов в стекле и на поверхности контактных покрытий и их активацией при заварке геркона, стимулирующей образование паразитных покрытий и кристаллов хлоридов калия и натрия на поверхности контактов.

*магнитоуправляемый герметизированный контакт, геркон, микроэлектромеханическая система, МЭМС, контактное покрытие, растровая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, рутений.*

### Введение

Различного рода случайные отклонения от технологии, негативно сказывающиеся на параметры, ресурс и выход годных приборов, являются общей проблемой для промышленного производства различных видов элементов коммутационной техники и поэтому требуют детального исследования. Особенно остро эта проблема стоит при изготовлении миниатюрных коммутирующих устройств, таких как магнитоуправляемые герметизированные контакты (герконы) [3; 5] и микроэлектромеханические системы (МЭМС) [1; 2; 9].

К случайным отклонениям от технологии приводят попадание или образование посторонних частиц (ПЧ) на поверхности контактов коммутирующих устройств.

Классификация ПЧ по источникам их возникновения в герконах дана в работе [5]. Ее авторы указывают на четыре возможных источника ПЧ. Это жидкие и газообразные технологические среды, используемые на различных стадиях производства герконов, содержащие микрочастицы (посторонние частицы — ПЧ-1), которые, попадая в геркон, негативно сказываются на его работоспособности [5].

Наличие микрочастиц (ПЧ-1) в электролитах золочения и рутенирования является также одной из основных причин пористости контактных покрытий герконов [3]. Поры, в свою очередь, не просто уменьшают (до десяти и более процентов) область контактирования, но и являются причиной коррозии, приводящей к образованию на поверхности контактов микрочастиц и паразитных покрытий (ПЧ-2), повышающих переходное сопротивление.

Кроме этого, в объем геркона могут попадать микрочастицы стекла и металла, образующиеся при резке капилляров и штамповки контакт-деталей, а также в результате других технологических операций, связанных с механическими воздействиями на детали геркона (ПЧ-3) [5].

Особый интерес представляют микрочастицы и паразитные покрытия (ПЧ-4), образующиеся на поверхности контакт-деталей и внутренней поверхности баллонов в результате физико-химических процессов, происходящих при нанесении покрытий, заварке, последующем отжиге, токовых испытаниях и в условиях эксплуатации герконов.

Например, при заварке в результате кратковременного воздействия инфракрасного излучения происходит нагрев места спая с последующими герметизацией и «выбросом» в объем геркона заварочного газа. Последний состоит из продуктов термического разложения стекла, остатков электролита, а также газов и паров, адсорбированных и растворенных ранее в приповерхностных областях стеклобаллона и контакт-деталей геркона [5]. При определенных условиях из заварочного газа внутри геркона на поверхности его деталей могут синтезироваться различные паразитные покрытия, например, «белый налет» на внутренней поверхности стеклобаллона, образованный кристаллами хлорида калия [5].

Методы анализа технологических артефактов при производстве герконов были применены при исследовании случайных отклонений от технологии МЭМС [1; 2; 9]. Например, в работе [2] методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа исследованы морфология и элементно-химический состав поверхности контактных покрытий МЭМС-коммутаторов. Рассмотрено влияние различных типов примесей и приведены количественные характеристики их содержания на поверхности. Показано, что примеси меди и алюминия на поверхности контактов приводят к повышению электрического сопротивления и понижению ресурса приборов.

Установлено, что элементно-химический состав и морфология поверхности определяют величину и стабильность электрического сопротивления, и, как следствие, коммутационные возможности и работоспособность МЭМС-коммутаторов.

В работах [1; 9] показано, что, для того чтобы МЭМС имели низкое и стабильное электрическое сопротивление, высокий ресурс работы, прежде всего необходимо решить проблему полного удаления жертвенного слоя и минимизировать влияние различного рода посторонних частиц, обеспечив для этого постоянный мониторинг технологических процессов и сред. Кроме этого, для увеличения площади фактического контакта, необходимо повысить плоскостность контактных площадок и уменьшить количество затрудняющих токопрохождение выступов и пор на них.

Данная работа является логическим продолжением исследований [1–3; 5; 9] и направлена на решение проблем современного промышленного производства герконов, связанных с технологическими артефактами.

### Образцы и методы

Объектами исследований являлись образцы переключающих герконов МКС-17103 и замыкающих герконов МКА-14103, изготовленные АО «Рязанский завод металлокерамических приборов».

Приборы в сборе (в герметичном стеклянном баллоне) изображены на рисунках 1, 2.



*Рис. 1. Внешний вид переключающего геркона МКС-17103*



*Рис. 2. Внешний вид замыкающего геркона МКА-14103*

Технологический процесс нанесения на контакт-детали гальванического покрытия включал около 20 переходов между различными операциями, в том числе обезжикивание, декапирование в кислотном растворе, предзолочение, золочение, рутенирование. Осажденные таким образом покрытия герконов МКС-17103 и МКА-14103 состояли из подслоя золота толщиной 0,9–1,1 мкм и 0,4–0,8 мкм и слоя рутения толщиной 0,3–0,7 мкм и 0,35–1 мкм соответственно.

Более подробное описание конструкции и технологии изготовления этих и других герконов можно найти в монографиях [6; 7].

О состоянии поверхности контактов судили по результатам рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Измерения электрического сопротивления ( $R$ ) и других параметров герконов проводились с помощью специализированного оборудования по методикам, представленным в работе [6].

Анализ причин брака герконов ( $R >$  нормы, отсутствие токопрохождения при замыкании контактов) проводился по результатам РСМА и РЭМ поверхности контактов и методикам, развитым в работах [1–3; 5; 9].

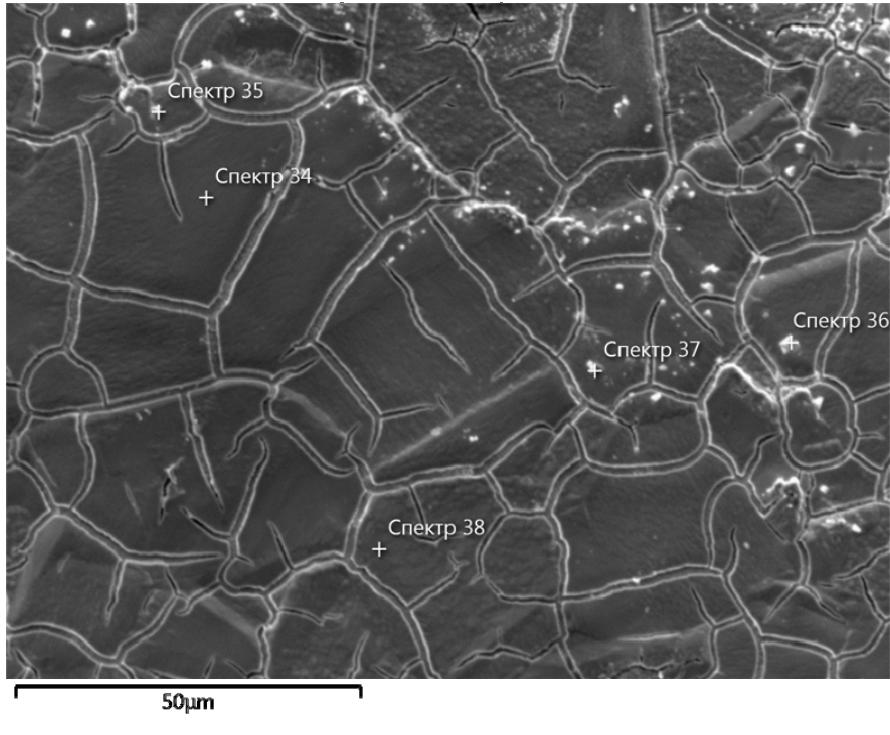
## Результаты и их обсуждение

### 1. Переключающий геркон MKC-17103

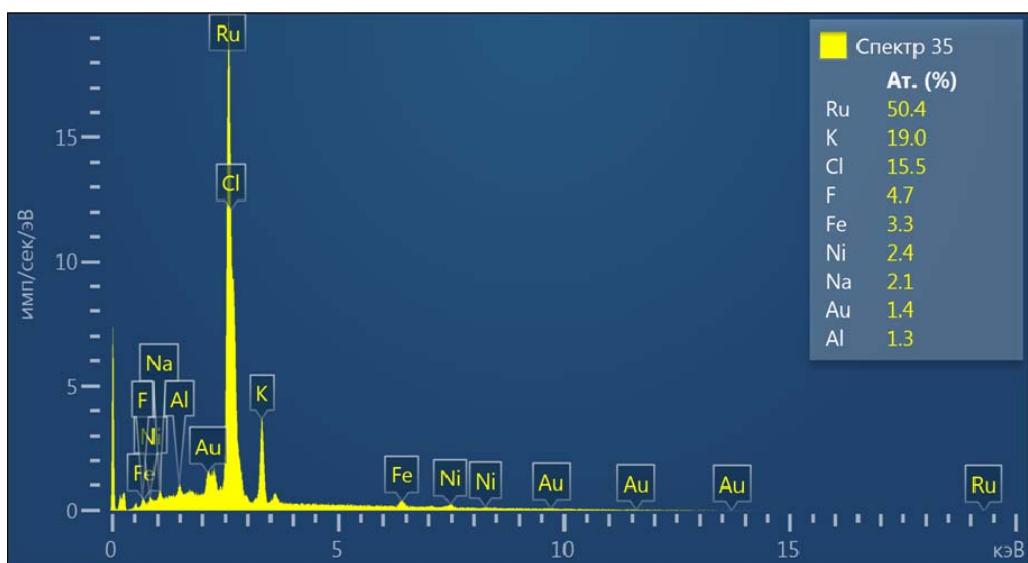
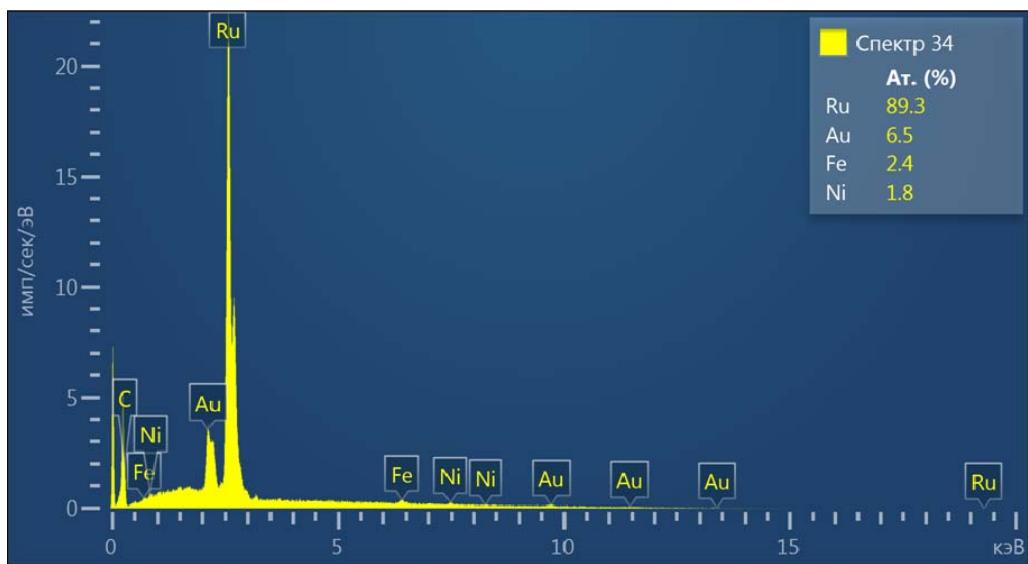
На рисунках 3–5 представлены РЭМ-изображения и рентгеновские спектры поверхности нормально-замкнутой (НЗ) пары контакт-деталей геркона:

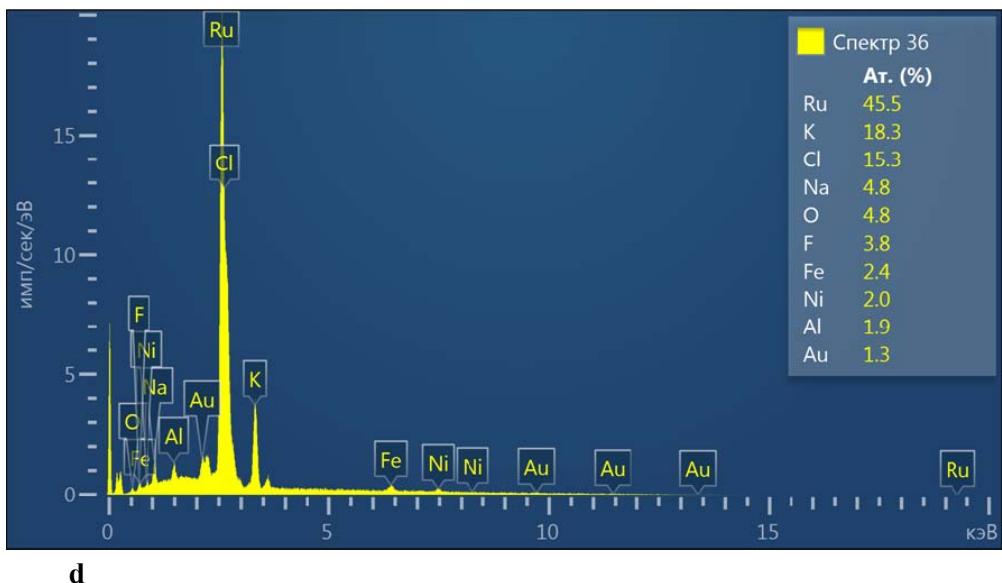
- забракованного по величине сопротивления ( $R > 0,1$ ) (рис. 3);
- забракованного по внешнему виду из-за образования вискеров на поверхности контактов внутри геркона при заварке (рис. 4);
- прошедшего контроль по величине сопротивления ( $R \leq 0,1$ ) геркона (рис. 5).

Рассмотрим рисунок 3.



a





**d**

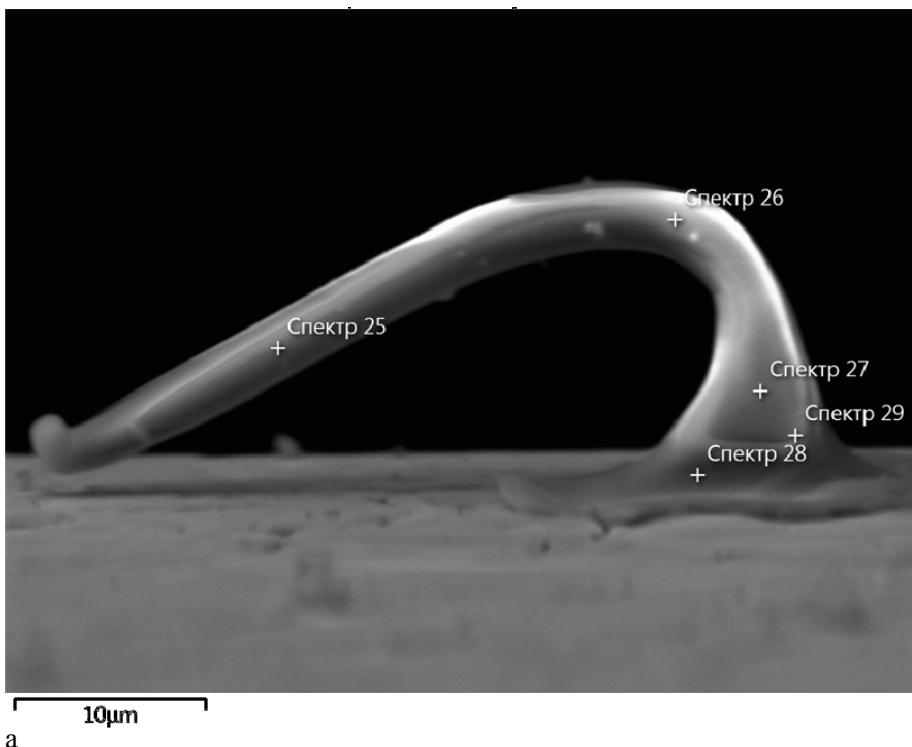
Рис. 3. РЭМ-изображение поверхности золото-рутениевого покрытия изогнутой контакт-детали НЗ пары геркона МКС-17103, забракованного из-за превышения сопротивления допустимому значению ( $R > 0,1 \text{ Ом}$ ) — а; рентгеновские спектры 34 (б), 35 (в), 36 (г) микроучастков поверхности, изображенных на рисунке 3(а)

На рисунке 3а показана микрофотография контактного покрытия изогнутой контакт-детали НЗ пары. Характерной особенностью покрытия является наличие на его поверхности множества микрочастиц. Рентгеноспектральный анализ этих частиц показал (рис. 3, в, г), что они состоят в основном из калия — K (6,5–19 ат. %), хлора — Cl (6,9–15,5 ат. %) и небольшого количества (от 2 до 5 %) фтора (F), натрия (Na), алюминия (Al), кислорода (O). Элементный состав частиц 35–36 (рис. 3, а) согласно спектрам 35–36 (рис. 3, в, г) частично соответствует (отсутствует базовый элемент стекла — кремний (Si)) химическому составу стекла баллона геркона [6], причем концентрация атомов калия (K) и хлора (Cl) в этих микрочастицах одинаковая (рис. 3, в, г), то есть мы имеем дело со стехиометрией соответствующей хлориду калия (KCl).

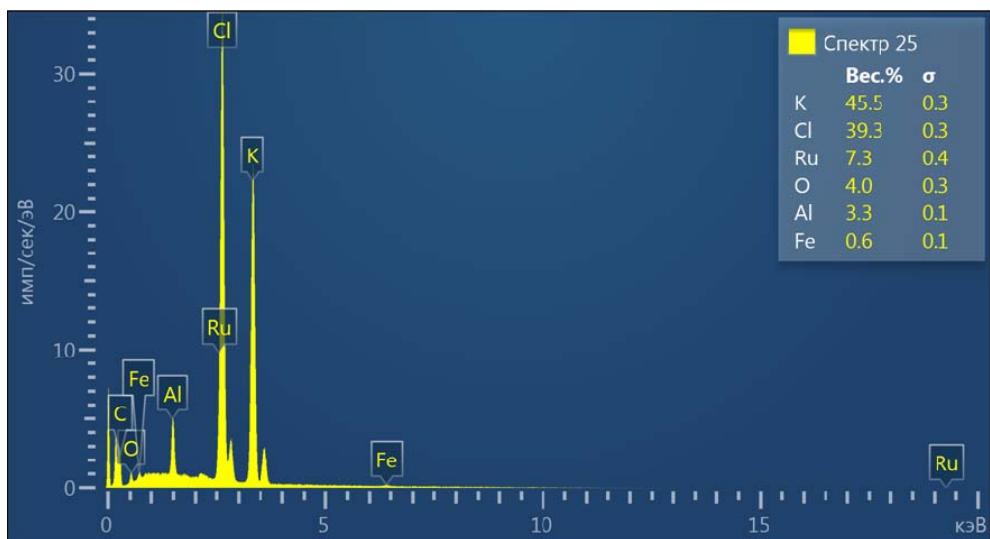
Исследования показали, что подобные дефекты (микрочастицы хлорида калия) имеет также контактное покрытие прямой контакт-детали НЗ пары.

Микроучасток поверхности 34 (рис. 3, а) судя по спектру 34 (рис. 3, в) не имеет каких-либо загрязнений.

Рассмотрим рисунок 4.



а



б

Рис. 4. РЭМ-изображение (а) и рентгеновский спектр (б) вискуера, расположенного на поверхности контакта внутри геркона

Полученное РЭМ-изображение (рис. 4, а) и рентгеновский спектр (рис. 4, б) типичны для вискера. Ни практически отсутствуют в составе полученного на рутениевой подложке вискера (рис. 4, б). При этом на поверхности рутениевой подложки образуется пленка хлорида калия (KCl). Диаметр вискера около 3 мкм, на конце его видна застывшая капелька, что является свидетельством в пользу предположения о росте вискера по механизму «пар – жидкость – кристалл».

Причина образования микрочастиц и вискеров из хлорида калия (KCl) также, как и в случае образования белого налета на внутренней поверхности баллона геркона КЭМ-3 [5], связана с процессом заварки геркона.

При заварке в результате кратковременного воздействия сфокусированного инфракрасного излучения происходит нагрев места спая (до температуры около 1000 °С) с последующими герметизацией и «выбросом» в объем геркона заварочного газа, состоящего из продуктов термического разложения стекла, остатков электролита, а также газов и паров, адсорбированных и растворенных ранее в приповерхностных областях стеклобаллона и контакт-деталей геркона.

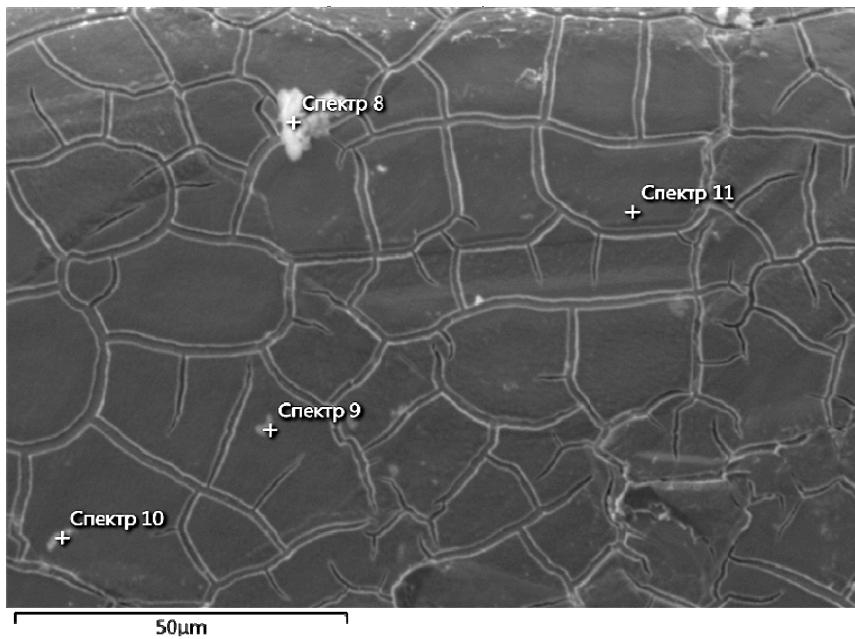
Заварка производится в атмосфере азота. Его смесь с заварочным газом является исходной газовой фазой, из которой образуются паразитные покрытия, микрочастицы и вискеры (ПЧ-4).

В щелочных силикатных стеклах основными продуктами термического разложения являются атомы калия. Причем это характерно не только для стекла с высоким содержанием оксида калия, например марки С-93, из которого изготовлены баллоны исследуемых герконов [6], но и для стекла, где его содержание незначительно и связано с высокой летучестью калия. При нагреве будут испаряться также натрий, фтор и другие, менее летучие, чем калий, компоненты стекла. Активно выделяются пары воды, компоненты воздуха, хлор (Cl) и хлористый водород (HCl), фтор (F) и фтористый водород (HF) (при изготовлении стеклобаллонов применяют HF и HCl). Одновременно из контакт-деталей с нагревом удаляются водород, угарный и углекислый газы, пары воды, хлора, летучие компоненты остатков электролита (при изготовлении гальванопокрытий применяется хлористый водород (HCl) и трилон-Б динатриевая соль).

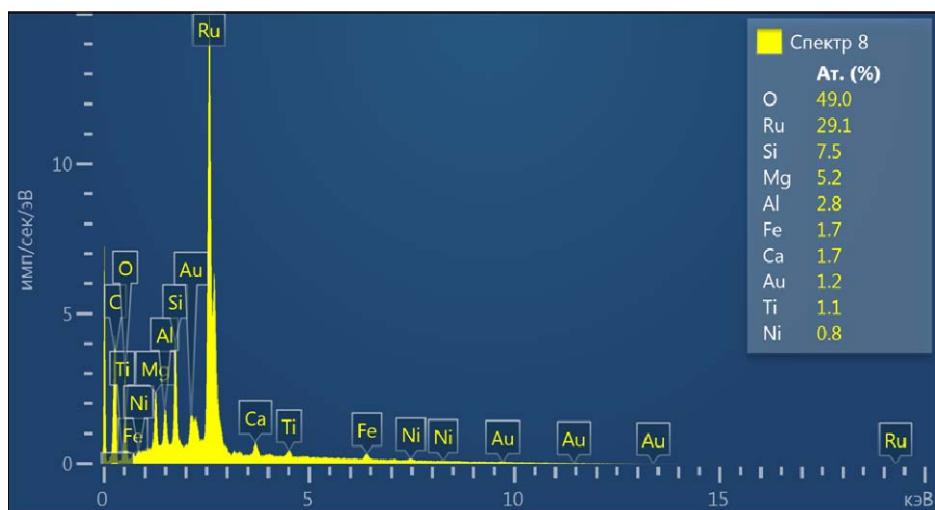
Химически активные пары щелочных и щелочноземельных металлов, с одной стороны, и газы — с другой, являются основным строительным материалом, из которых при заварке формируются на поверхности контакт-деталей и баллонов паразитные покрытия, микрочастицы и вискеры (ПЧ-4), приводящие к росту сопротивления и негативно влияющие на работоспособность приборов.

Этот процесс может быть повторно активирован последующим отжигом и токовыми испытаниями герконов при наличии на поверхности контакт-деталей и баллонов свободных и химически активных атомов металлов. Вступая в реакцию с выделяемыми при нагреве газами, адатомы могут так же, как и при заварке, образовывать паразитные покрытия и микрочастицы.

Рассмотрим рисунок 5.



а



б

*Рис. 5. РЭМ-изображение поверхности золото-рутениевого покрытия прямой контакт-детали Н3 пары геркона МКС-17103 с допустимым значением сопротивления ( $R \leq 0,1 \text{ Ом}$ ) — а; рентгеновский спектр 8 микрочастицы — б*

На рисунке 5 (а) показана микрофотография участка контактного покрытия прямой контакт-детали НЗ пары. Характерной особенностью покрытия является наличие на его поверхности микрочастицы 8. Рентгеноспектральный анализ этой частицы показал (рис. 5, б), что она состоит в основном из кислорода — (O) (49,0 ат. %), кремния — (Si) (7,5 ат. %), магния — (Mg) (5,2 ат. %), кальция — (Ca) (1,7 ат. %). Элементный состав частицы 8 (рис. 5, б) соотносится с составом песка (частицы пыли), возможно также присутствие в ее составе окислов железа и никеля (окислов железоникелевого сплава). Это загрязнение, судя по величине замеренного сопротивления ( $R \leq 0,1$  Ом), не влияет существенно на его величину. Однако нельзя исключить возможность попадания в область фактического контакта подобного рода микрочастиц, приводящих к отказу приборов.

Результаты настоящих исследований в части состава микрочастиц 8 (рис. 5, б), обнаруженных на контактной поверхности геркона МКС-17103 (с сопротивлением в пределах нормы), хорошо коррелируются с данными авторов [2], а именно с составом и размером примесей электролитов золочения и рутенирования.

Значительное влияние на качество герконов, как показано в нашей работе, играет загрязненность электролита.

Данные об элементном составе микропримесей в электролите золочения и рутенирования, используемых для производства герконов, приведены в таблице [2].

Таблица

Результаты оптико-микроскопических и атомно-эмиссионных исследований электролитов на содержание в них посторонних частиц

Электролит золочения			Электролит рутенирования		
кол-во частиц, шт./л	размер частиц, мм	элементный состав	кол-во частиц, шт./л	размер частиц, мм	элементный состав
20 – множество	0,01–0,36	Au, Si, Na, Fe, Ni, Ca, Mg, P, K, Cu	20 – множество	0,02–2,5	Ru, Si, Na, Ni, Fe, Ca, Mg

Согласно данным, приведенным в таблице, микрочастицы в электролитах могут быть как металлами, так и диэлектриками или полупроводниками, магнитными и(или) немагнитными материалами. Общим свойством используемых электролитов является наличие в них включений, состоящих из Fe, Ni, Mg, Ca, Si, при этом наличие Fe, Ni с большой долей вероятности связано с влиянием подложки, изготовленной из пермаллоя, а присутствие таких элементов, как Fe, Mg, Ca, Si, связано в первую очередь с используемой для разбавления электролита водой, а также окружающей его воздушной средой. Источником Fe, Ni мо-

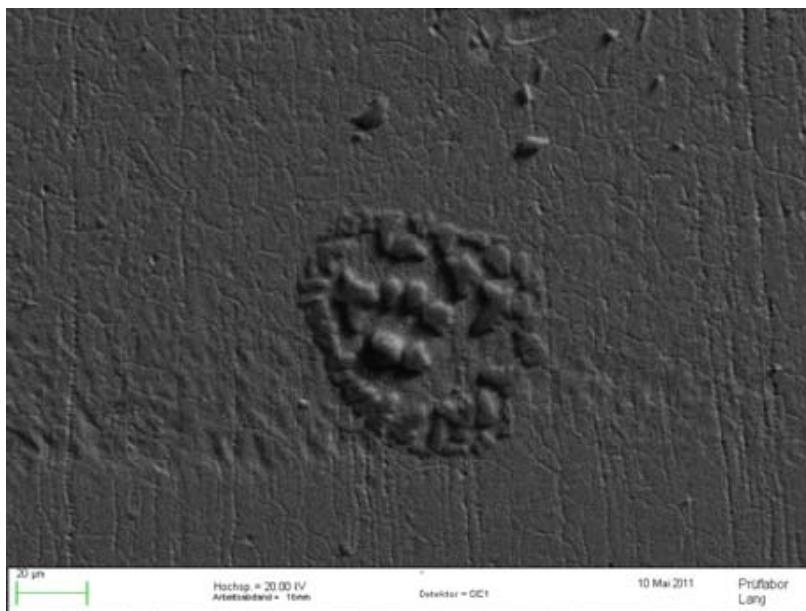
жет быть также коррозионное разрушение подложки в процессе золочения и рутенирования. Наряду с общими свойствами используемым электролитам присущи также и особые свойства. Так, особенностью электролита золочения является наличие в нем включений, состоящих из Au, P, Cu, K. Электролит рутенирования имеет более узкий спектр включений [2].

Таким образом, микрочастица 8 (рис. 5, б) попала в геркон из технологических сред или воздуха производственных помещений.

На практике очень трудно избежать попадания в работающие электролиты различных механических загрязнений, вызывающих рост электрического сопротивления герконов. Однако механические загрязнения можно устраниТЬ почти полностью, применяя интенсивную фильтрацию электролитов, лучше всего непрерывную.

## 2. Замыкающий геркон МКА-14103

На рисунках 6, 7 представлены РЭМ-изображение контактной поверхности геркона МКА-14103, забракованного из-за отсутствия токопрохождения при замыкании контактов, и РСМА-спектр типичный для микрочастиц, находящихся на этой поверхности.



*Рис. 6. РЭМ-изображение кристаллов NaCl на поверхности золото-рутениевого контактного покрытия геркона МКА-14103, забракованного из-за отсутствия токопрохождения при замыкании контактов*

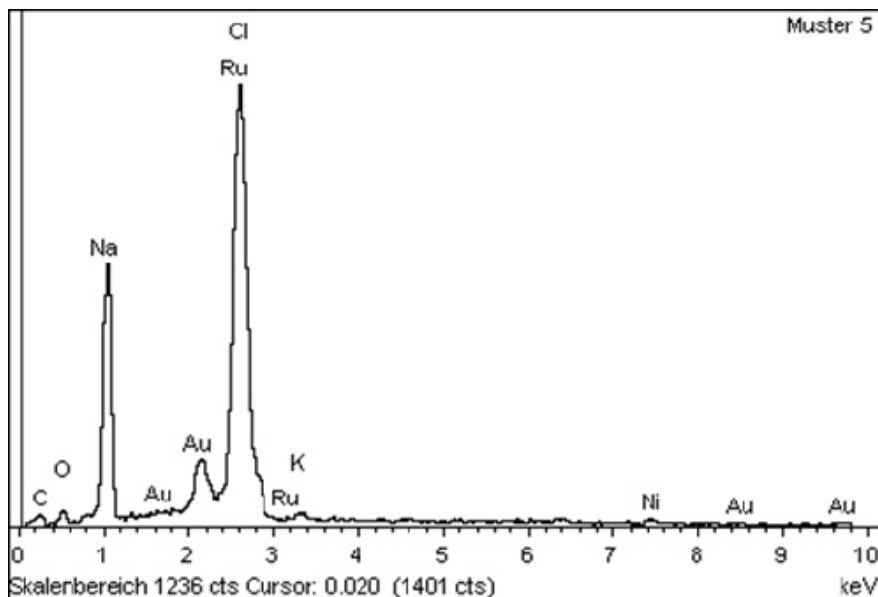


Рис. 7. Рентгеновский спектр участка поверхности, изображенного на рисунке 6

Для определения причины брака этого геркона проанализируем результаты РЭМ и РСМА, представленные на рисунках 6, 7 с учетом особенностей современной технологии изготовления герконов [6; 7].

Результаты РЭМ и РСМА исследований геркона МКА-14103, забракованного из-за отсутствия токопрохождения, показали, что причиной брака являются кристаллы хлорида натрия ( $\text{NaCl}$ ) (рис. 6, 7). Образования пятен и ПЧ хлорида натрия связано с нанесением рутения и последующими за ним операциями. В состав электролита рутенирования входит соляная кислота ( $\text{HCl}$ ), а в состав растворов, используемых для проведения трех последующих за рутенированием операций, входит натрий ( $\text{Na}$ ) [7]. После каждой из этих операций проводится промывка контакт-деталей [7]. Следовательно, качество промывки после рутенирования было неудовлетворительным. Это косвенно подтверждает то, что у герконов, изготовленных без гальванопокрытий по ионно-плазменной технологии, подобные дефекты отсутствуют [4; 6–8; 8–12; 10–12]. Нельзя исключать также возможность синтеза  $\text{NaCl}$  при заварке геркона. В этом случае образование хлорида натрия может произойти в результате взаимодействия остатков натрийсодержащего раствора (например, трилона – Б), находящихся из-за некачественной промывки на поверхности контакт-деталей, и паров соляной кислоты, выделяемых стеклобаллоном при нагреве. Наличие соляной кислоты в приповерхностном слое стекла также связано с некачественной промывкой, но уже стеклобаллонов после проведения их химической полировки в растворе смеси соляной и плавиковой кислот [6; 7].

Таким образом, исследования переключающего геркона МКС 17103 с повышенным сопротивлением и замыкающего геркона МКА 14103, у которого

полностью отсутствует токопрохождение при замыкании контактов, показали, что доминантную роль в увеличении сопротивления играют в первую очередь такие технологические процессы, как герметизация контактов (заварка), изготавление контактных покрытий и стеклобаллонов.

### Заключение

Таким образом, основные виды брака обусловлены аномально высокой концентрацией химически активных элементов в стекле и на поверхности контактных покрытий и их активацией в результате разогрева стекла и контакт-деталей при заварке геркона, приводящей к образованию паразитных покрытий и кристаллов хлоридов калия и натрия на поверхности контактов.

Не менее негативную роль играют различные микрочастицы при попадании их внутрь геркона, источниками которых являются различного рода загрязнения технологических сред и воздуха, а также механические воздействия технологического характера, например, такие, как резка стеклокапилляров и штамповка контакт-деталей.

Минимизация технологических артефактов возможна при постоянном мониторинге технологических процессов и сред, повышении качества исходных материалов и оптимизации технологических процессов на основе внедрения в производство современного технологического, испытательного и аналитического оборудования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афиногенов, И.А. Исследование влияния элементно-химического состава и морфологических особенностей поверхности контактных покрытий на электрическое сопротивление и ресурс работы МЭМС-коммутаторов [Текст] / И.А. Афиногенов, И.А. Зельцер, Е.Б. Трунин // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. — 2014. — № 4/45. — С. 149–171.
2. Афиногенов, И.А. Исследование факторов, определяющих элементно-химический состав и морфологические особенности контактных покрытий МЭМС-коммутаторов [Текст] / И.А. Афиногенов, И.А. Зельцер, Е.Б. Трунин // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. — 2014. — № 3/44. — С. 114–139.
3. Зельцер, И.А. Влияние технологической среды на пористость электролитических покрытий герконов [Текст] / И.А. Зельцер, Е.Б. Трунин, Е.Н. Моос // Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе [Reed Switches and Products on Basis Thereof] : сб. тр. первой Междунар. науч.-практ. конф., 11–14 октября 2005 г. [Proceedings of the 1st International Science and Practical Conference, 11.10–14.10.2005] / под ред. С.М. Карабанова. — Рязань : Поверенный, 2006. — С. 56–65.
4. Зельцер, И.А. Новые контактные покрытия герконов на основе нитридов железа и никеля [Текст] / И.А. Зельцер, Р.М. Майзельс, Е.Н. Моос, К.А. Арушанов // Электронная промышленность. — 2013. — № 3. — С. 7–14.
5. Зельцер, И.А. Технологические артефакты на стадии герметизации магнитоуправляемых контактов [Текст] / И.А. Зельцер, Р.А. Некрасов // Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе [Reed Switches and Products on Basis Thereof] : сб. тр. первой Междунар. науч.-практ. конф., 11–14 октября 2005 г. [Proceedings of the 1st

International Science and Practical Conference. 11–14 октября 2005] / под ред. С.М. Карабанова. — Рязань : Поверенный, 2006. — С. 56–65.

6. Карабанов, С.М. Магнитоуправляемые герметизированные контакты (герконы) и изделия на их основе [Текст] / С.М. Карабанов, Р.М. Майзельс, В.Н. Шоффа. — М. : Интеллект, 2011. — 408 с.

7. Карабанов, С.М. Электролитические покрытия магнитоуправляемых герметизированных контактов (герконов) [Текст] / С.М. Карабанов, О.Г. Локштanova ; под ред. С.М. Карабанова. — Рязань, 2011. — 246 с.

8. Толстогузов, А.Б. Ионно-плазменная обработка поверхности контактов герконов: исследования методом масс-спектрометрии вторичных ионов [Текст] / А.Б. Толстогузов, М.Н. Дроздов, И.А. Зельцер, К.А. Арушанов, О.М. и Н.Д. Теодору // Mass-spectrometry. — 2013. — № 3. — С. 167–174.

9. Afinogenov, I.A. Characterization on Contacting Surfaces of MEMS Electrostatic Switches by SEM, EDXA, and XPS / I.A. Afinogenov, I.A. Zeltser, E.B. Trunin, A. Tolstoguzov // Advances in Materials Science and Engineering. Vol. 2015, Article ID 679313, 6 pages, 2015. doi:10.1155/2015/679313.

10. Arushanov, K.A. Ion-Induced Surface Modification of Magnetically Operated Contacts [Text] / K.A. Arushanov, I.A. Zeltser, S.M. Karabanov, R.M. Maizels, E.N. Moos, A. Tolstoguzov // Coatings. — 2012. — № 2. — P. 8–44.

11. Arushanov, K.A. New technology of ion-plasma modification of the contact surfaces of reed switches in oscillatory discharge [Text] / I.A. Zeltser, S.M. Karabanov, R.M. Maizels, E.N. Moos // Journal of Physics : Conference Series. — 2012. — Vol. 345, N 01-2003. — P. 1–28.

12. Karabanov, S.M. Creation of Principally New Generation of Switching Technique Elements (Reed Switches) with Nanostructured Contact Surfaces [Text] / S.M. Karabanov, I.A. Zeltser, R.M. Maizels, E.N. Moos, K.A. Arushanov // Journal of Physics: Conference Series. — 2011. — Vol. 291, N 01-2020. — P. 1–17.

## REFERENCES

1. Afinogenov, I.A. Characterization on Contacting Surfaces of MEMS Electrostatic Switches by SEM, EDXA, and XPS [Text] / I.A. Afinogenov [et. al.] // Advances in materials science and engineering. Vol. 2015, Article ID 679313, 6 pages, 2015. doi:10.1155/-2015/679313.

2. Afinogenov, I.A. Issledovanie faktorov, opredelyayuschiikh ehlementno-khimicheskij sostav i morfologicheskie osobennosti kontaktnykh pokrytiy MEHMS-kommutatorov [Text] [Study of factors determining element-chemical composition and morphological features of the contact surfaces of microelectromechanical systems(MEMS)-commutators] / I.A. Afinogenov, I.A. Zel'tser, E.B. Trunin // Bulletin of Ryazan State University named for S.A. Yesenin. — 2014. — N 3/44. — P. 114–139.

3. Afinogenov, I.A. Issledovanie vliyanija ehlementno-khimicheskogo sostava i morfologicheskikh osobennostej poverhnosti kontaktnykh pokrytiy na elektricheskoe sprotyivlenie i resurs raboty MEHMS-kommutatorov [Text] [Investigation of the effect element-chemical composition and morphological characteristics of the surface coating on the contact electrical resistance and service life of microelectromechanical systems(MEMS)-commutators / I.A. Afinogenov, I.A. Zel'tser, E.B. Trunin // Bulletin of Ryazan state university named for Yesenin. — 2014. — N 4/45. — P. 149–171.

4. Arushanov, K.A. Ion-Induced surface modification of magnetically operated contacts. [Text] / K.A. Arushanov [et. al.] // Coatings. — 2012. — N 2. — P. 8–44.

5. Arushanov, K.A. New technology of ion-plasma modification of the contact surfaces of reed switches in oscillatory discharge [Text] / K.A. Arushanov [et. al.] // Journal of physics: Conference series. — 2012. — Vol. 345, N 01-2003. — P. 1–28.
6. Karabanov, S.M. Ehlektritoliticheskie pokrytiya magnitoupravlyayemykh germetizirovannykh kontaktov (gerkonov) [Text] [Electroplating magnetically sealed contacts (seal switches)] / ed. by S.M. Karabanova. — Ryazan : Ryazan regional printing house, 2011. — 246 p.
7. Karabanov, S.M. Magnitoupravlyayemye germetizirovannye kontakty (gerkony) i izdelya na ikh osnove [Text] [Magnetically controlled sealed contacts (seal switches) and products based on them] / S.M. Karabanov, R.M. Mayzels, V.N. Shoffa. — M. : Intellect, 2011. — 408 p.
8. Karabanov, S.M. Creation of principally new generation of switching technique elements (reed switches) with nanostructured contact surfaces [Text] / S.M. Karabanov [et. al.] // Journal of physics: conference series. — 2011. — Vol. 291. — N 01-2020. — P. 1–17.
9. Tolstoguzov, A.B. Ionno-plazmennaya obrabotka poverhnosti kontaktov gerkonov: issledovaniya metodom mass-spektrometrii vtorichnykh ionov [Text] Ion-plasma surface treatment of the contacts of reed switches: the research method of mass spectrometry of secondary ions / A.B. Tolstoguzov [et. al.] // Mass-spectrometry. — 2013. — N 3. — P. 167–174.
10. Zel'tser, I.A. Novye kontaktnye pokrytiya gerkonov na osnove nitridov zheleza i nikelya [Text] [New contact cover the switches on the basis of nitrides of iron and Nickel] / I.A. Zel'tser [et. al.] // Electronic engineering. — 2013. — N 3. — P. 7–14.
11. Zel'tser, I.A. Tekhnologicheskie artefakty na stadii germetizatsii magnitoupravlyayemykh kontaktov [Text] [Technological artifacts in the sealing step of magnetically operated contacts] / I.A. Zel'tser, R.A. Nekrasov // Magnetically controlled contacts (seal switches) and products based on them [Reed switches and products on basis thereof] : Proceedings of the 1st International Science and Practical Conference, 11–14 Oct. 2005 / ed.. by S.M. Karabanov. — Ryazan : Poverenny, 2006. — P. 56–65.
12. Zel'tser, I.A. Vliyanie tekhnologicheskoy sredy na poristost' ehlektritoliticheskikh pokrytiy gerkonov [Text] [Influence of the technological environment on the porosity of electrolytic coatings of seal switches] / I.A. Zel'tser, E.B. Trunin, E.N. Moos // Magnetically controlled contacts (seal switches) and products based on them [Reed switches and Products on Basis Thereof] : Proceedings of the 1st International scientific and practical conference, 11–14 Oct. 2005 / ed. by S.M. Karabanov. — Ryazan : Poverenny, 2006. — P. 56–65.

## I.A. Zeltser

### TECHNOLOGICAL ARTIFACTS IN PRODUCTION OF MAGNETICALLY OPERATED SEALED SWITCHES (HERMETICALLY SEALED SWITCHES)

The methods of focused-beam microscopy and X-ray spectral microanalysis are used to investigate the morphology and structure of the contact plating of front switches and gate switches. The paper shows that some defects are caused by abnormally high concentration of chemically active elements in the glass and on the plating, which reduces parasitic resistance and leads to the formation of crystals of potassium chloride and sodium chloride on the contact plating.

*magnetically operated sealed switch, hermetically sealed switch, microelectromechanical system, contact plating, focused-beam microscopy, X-ray spectral microanalysis, ruthenium.*