

УДК 541.182.023.4+546.57+621.315.592+541.121+543.7

Применение серебра (обзор)

**Л.Т. Денисова, Н.В. Белоусова, В.М. Денисов,
В.В. Иванов**

*Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 16.09.2009, received in revised form 06.10.2009, accepted 20.10.2009

Проведен обзор работ, посвященных применению, начиная с древних времен и до настоящего времени. Сделан анализ использования серебра в различных областях техники, биологии, медицины, в производстве ювелирных изделий. Отмечены особенности свойств и применения наносеребра.

Ключевые слова: серебро, электроконтакты, припой, полупроводники, наносеребро, стекла, медицина, биология, ювелирное дело.

Введение

Серебро известно еще с древних времен и всегда играло достаточно большую роль в нашей жизни [1]. Лидийский царь Крез (561-546 гг. до н.э.), о несметных богатствах которого слагали легенды, впервые ввел золото и серебро как монетные металлы [2]. Широкое использование серебра связано, в первую очередь, с его химическими и физическими свойствами, красивым внешним видом. Серебро и его сплавы применяются в различных областях техники, биологии и медицины, производстве ювелирных изделий. На основе серебра созданы припои с уникальными эксплуатационными свойствами (пайка вакуумных приборов, керамических и композиционных материалов, соединений разнородных материалов, обладающих весьма различными коэффициентами теплопроводности). При этом чем выше требования к коррозионной стойкости паяного шва, тем с более высоким содержанием серебра применяются припои [3-5].

1. Традиционные применения серебра

Фотография

Почти все соединения серебра (Ag(I)) на свету разлагаются до свободного серебра и при этом окрашиваются в серый или черный цвет, что используется в фотографии [1]. Лишь в последнее время на изготовление кино- и фотоматериалов с созданием цифровой техники стало расходоваться меньшее количество серебра. Варианты переработки отходов такого производства рассмотрены в [6, 7].

* Corresponding author E-mail address: antluba@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

Катализ

Серебро и его сплавы используются в качестве катализаторов. Катализаторы Ag/оксиды металлов эффективно восстанавливают NO в избытке кислорода. Установлена важная роль восстановителей в селективном каталитическом восстановлении NO (эффективность восстановления зависит от типа восстановителя) [8]. Известно, что алюмооксидный носитель не является индифферентным по отношению к нанесенным на него металлам (Pt, Pd, Ag), оказывая тем самым заметное влияние на их свойства и степень взаимодействия с поверхностью [9, 10]. Изучению особенностей взаимодействия в системе Ag-Al₂O₃ посвящен ряд работ [11-13]. Данные по установлению взаимосвязи каталитической активности и концентрации кислотных центров поверхности серебряных катализаторов приведены в [9].

Использование серебра в электротехнике

Большое количество серебра идет на изготовление электроконтактных материалов для нужд электротехники и электроники [14, 15]. Они весьма разнообразны по назначению, области применения, характеру работы: скользящие и разрывные; контакты, предназначенные для вакуумных выключателей и для работы в газе (воздух, элегаз), в масле, для высоковольтной и низковольтной аппаратуры и т.п.

Разрывные электроконтакты низковольтной (до 1000 В) аппаратуры – основной потребитель серебра в этой области техники – изготавливают, как правило, из материалов с содержанием Ag около 80-90 %, в то время как в высоковольтных электроаппаратах используется медь.

Работоспособность и надежность электрических контактов в значительной степени определяется физическими и связанными с ними химическими процессами, имеющими место при их работе [16-33].

Одним из главных факторов, определяющих срок службы коммутационных аппаратов, является износ контактов, обусловленный переходным процессом при размыкании электрической цепи – дуговым разрядом. Считается обычно, что при размыкании тока более 0,5 А и напряжении более 15 – 20 В между контактами возникает электрическая дуга, вызывающая так называемую дуговую эрозию контактного материала. Прерывание меньших значений тока и напряжения сопровождается только небольшими искрами и может приводить к «мостиковой эрозии», характерной для слаботочных реле. При этом наблюдается перенос материала с одного электрода на другой с образованием кратеров и наростов в зависимости от полярности и материала контактов. Образованию дуги часто предшествует мостиковая стадия процесса. В момент размыкания цепи в точках контактирования локально выделяется тепло, металл плавится и между расходящимися поверхностями вытягивается жидкий мостик. Так как через него течет весь ток, он разогревается до температуры кипения металла и разбрызгивается, при этом часть металла вылетает за пределы межконтактного промежутка.

Оптимальным выбором материала электроконтактов можно в определенной степени влиять на процесс развития и гашения дугового разряда. Материал с высоким свойством дугогашения слабее подвержен дуговой эрозии. Наличие этого свойства – одно из требований к контактному материалу. Ряд других требований, с точки зрения ослабления воздействия дуговых разрядов на износ, также следует из изложенного: высокие тепло- и электропроводность. В условиях слабого теплоотвода катодное пятно может разогреваться за счет джоулева тепла

до высоких температур, обеспечивающих термоэмиссию электронов в катодный слой, снижая тем самым способность к восстановлению прочности дугового промежутка и затягивая время горения дуги.

В результате многократного повторения циклов замыкания-размыкания (В-О) вся поверхность контактов обрабатывается дугой. Это сопровождается высокотемпературными процессами взаимодействия твердого и жидкого металла с компонентами атмосферы и плазмой дуги с образованием оксидов и других плохопроводящих соединений. В результате на рабочих поверхностях образуется так называемый слой наработки толщиной до десятков и сотен микрометров, состоящий из продуктов окисления, застывших микрокапель металла, атмосферных частиц, пузырьков газа и т.п. Этот слой в дальнейшем оказывает определяющее влияние на контактное сопротивление в замкнутом состоянии и вообще на работоспособность контактной пары.

Условия работы электроконтактов в замкнутом состоянии определяются совокупностью теплофизических процессов в площадке их соприкосновения. Эта площадка представляет собой только кажущуюся контактную площадь. Истинный механический контакт поверхностей осуществляется на отдельных участках – контактных пятнах, площадь которых может составлять десятые и сотые доли процента от кажущейся площади соприкосновения.

От площади контактирования в значительной степени зависит весьма важная характеристика контактов – переходное сопротивление R_K . Сложным образом на величину R_K влияет температура. Рабочая температура контактных элементов (или ее превышение над температурой окружающей среды ΔT) нормируется [34].

Другие эффекты проявляются при длительном прохождении токов перегрузки. Результат – проплавление контактных площадок и их сваривание. Каждому материалу соответствует величина граничного тока сваривания [35]. При прохождении сквозь контакты токов, близких к критическим, все контакты в той или иной степени свариваются. Кроме того, существует «холодное сваривание» при длительной работе на номинальных токах. Поэтому свойство сваривания характеризуется также отрывным усилием приварившихся контактов $F_{св}$.

Эрозионный износ и сваривание наблюдаются не только при размыкании цепи, но и при включении. В момент включения контакты упруго деформируются и коммутационное устройство из-за пружинящего эффекта на короткое время размыкается. Размыкания могут многократно (2-5 колебаний) повторяться, а амплитуда таких колебаний достигает 0,2 мм [36]. Это явление называют вибрацией или дребезгом контактов. Во время дребезга возникает короткая дуга и проявляются все эффекты, с ней связанные, в том числе и сваривание.

Рассмотренные физические явления и их следствия в виде действующих разрушающих факторов, которые имеют место при работе электрических контактов, позволяют сформулировать требования к материалу и его свойствам (электрофизическим, теплофизическим, механическим и химическим).

Разрушающие факторы: электрическая дуга, искра,хождение номинального тока, токов перегрузки и короткого замыкания, динамические нагрузки различной природы и термические напряжения, коррозионное действие среды.

Результаты воздействия разрушающих факторов на материал контакта: плавление материала, испарение, разбрызгивание, перенос материала с контакта на контакт, пластическая де-

формация; образование трещин, отколов, раковин, кратеров, осаждение капелек из брызг и паров; сварка, холодная сварка, задиры, вырывы, выкрашивания; химическое взаимодействие с атмосферой, образование слоев наработки.

Физико-химические свойства контактного материала, снижающие отрицательное влияние воздействия разрушающих факторов:

- высокие температуры плавления $T_{пл}$ и кипения $T_{кип}$, теплоты плавления $Q_{пл}$ и испарения $Q_{исп}$, теплоемкость c_p , теплопроводность λ ;
- низкая упругость паров, высокое поверхностное натяжение расплава;
- высокие электропроводность σ , работа выхода электрона A_e , потенциал ионизации ϕ ;
- высокие прочность, усталостная прочность, ударная вязкость; оптимальная твердость;
- высокие коррозионная стойкость, летучесть продуктов коррозии и их электропроводность, оптимальные прочность поверхностных слоев и сила их связи с основой.

Концентрированное выражение все перечисленные физико-химические свойства электроконтактного материала находят в кратких формулировках основных служебных свойств электрического контакта:

- высокая электроэрозионная стойкость под воздействием дуги;
- низкое и стабильное переходное сопротивление при работе в коррозионно-активной атмосфере;
- низкая склонность к свариванию под действием дуги, тока, динамических и статических нагрузок;
- высокая механическая износостойкость.

Сопоставление всего комплекса требований к свойствам материала показывает их многообразии и противоречивости. Казалось бы, взаимоисключающие свойства, несовместимые в одном металле, удается объединить в композитах, псевдосплавах, которые получают методами порошковой металлургии [37]. Тем не менее ясно, что основой электроконтактного материала могут служить лишь благородные металлы и, в какой-то степени, медь, обладающие набором ключевых свойств.

К настоящему времени разработаны сотни электроконтактных материалов на основе благородных металлов и меди, но наибольшие объемы производства приходится на электроконтакты с серебром. Причина этого понятна: серебро, кроме высоких тепло- и электропроводности, пластичности, имеет малое сродство к кислороду, а его оксиды Ag_2O и AgO разлагаются уже при небольшом нагревании до 470 К [4, 38]. К тому же они имеют относительно малое удельное сопротивление – соответственно 1,0 и 0,012 Ом·см при комнатной температуре [39, 40]. Вследствие этого серебро обеспечивает низкое переходное сопротивление контактной пары. При окислении поверхности контактные области стягивания тока нагреваются (вплоть до нескольких сотен градусов [41]), оксиды разлагаются и металлический контакт восстанавливается.

Материалы для электроконтактов на основе серебра используются как в виде чистого металла, его сплавов, так и гетерофазных композитов с металлами, оксидами, карбидами и т.п. Области применения отдельных композиций перечислены далее по тексту, а также приведены в таблицах, основанных на информации из ряда источников [4, 20-22, 25, 26, 30, 36-38, 42].

Серебро – слаботочные реле различного назначения, сигнальная аппаратура, контакты вспомогательных цепей, термостаты, бытовые приборы, управление флуоресцентными лампами, командоконтроллеры, нагреватели воды, светоустановочные аппараты; покрытия электроосаждением на контактные детали устройств радио- и электронной техники, работающих в бездуговом режиме.

Серебро-медь – реле, сигнальная аппаратура, светотехнические выключатели, радиоаппаратура.

Серебро-медь-никель – стенные бытовые выключатели, реле уличных сигналов, тепловые выключатели, преобразователи тока, выключатели связи, реле автоматики, выключатели и реле авиационные легконагруженные, электромагнитные счетчики, управление флуоресцентными лампами, автомобильные и железнодорожные сигнальные реле, регуляторы освещения.

Серебро-кадмий – реле, бензино- и маслоизмерители, контрольные реле легко- и средненагруженные авиационного оборудования, выключатели перегрузки и термостаты холодильников, уличные сигналы, тепловые выключатели, стартеры.

Серебро-кадмий-никель-железо – реле-регуляторы напряжения, автоприборы.

Серебро-кадмий-никель, серебро-кадмий-индий – реле в диапазоне токов 0-30 А.

Серебро-палладий – сигнальная аппаратура, телефонные реле и номеронабиратели, регуляторы напряжения, управление флуоресцентными лампами, бензино- и маслоизмерители, защитные устройства электродвигателей, выключатели холодильников и термостатов, контактные кольца.

Серебро-платина – радиоаппаратура, приборы автоматики и радио, радиовибраторы и устройства питания от сети радиоаппаратуры, электромагнитные счетчики.

Серебро-магний-никель, серебро-золото-магний-никель, серебро-магний-цирконий, серебро-магний-никель-цирконий, серебро-палладий-магний – заменители контактов из сплавов платина-иридий, золото-палладий-платина, золото-никель, золото-платина в малогабаритных и миниатюрных электромагнитных реле радиоэлектроники.

Серебро-оксид циркония – микровыключатели, реле на токи в диапазоне 0,01-100 А.

Существенное улучшение электроконтактных свойств серебра путем его легирования невозможно, поскольку достигаемое при этом улучшение твердости, износостойкости обязательно сопровождается снижением температуры плавления, тепло- и электропроводности. Композиционные материалы сочетают свойства отдельных компонентов без их значительного снижения (электро- и теплопроводность, температура плавления) и имеют, как правило, прочное каркасное строение.

Поэтому основные типы применяемых в настоящее время электроконтактных систем являются гетерогенными композиционными материалами с компонентами, ограниченно растворимыми в твердой фазе. Наибольшие объемы промышленного выпуска электроконтактной продукции приходятся на системы: Ag-CdO, Ag-SnO₂, Ag-Ni, Ag-W(WC), Ag-C [4, 26, 36-38, 41]. Типичные примеры составов и качественная оценка служебных свойств [43] приведены в табл. 1. Типичные примеры применения материалов к различным типам аппаратов сведены в табл. 2.

Обозначения в таблице: Св – стойкость против сваривания, Кс – контактное сопротивление, Э – эрозийная стойкость, Пд – подвижность дуги, Дг – дугогасящие свойства; о – отличное, у – удовлетворительное, п – плохое.

Таблица 1. Типичные примеры и электроконтактные свойства композиционных материалов на основе серебра

Типичные составы	Основные свойства				
	Св	Кс	Э	Пд	Дг
Ag-10CdO	у	о	у	о	о
Ag-15CdO	о	о	о	у	о
Ag-12SnO ₂ In ₂ O ₃ мд	о	п	о	у	у
Ag-12SnO ₂ Bi ₂ O ₃ мд	о	п	о	у	у
Ag-12SnO ₂ WO ₃	о	у	о	у	у
Ag-12SnO ₂ MoO ₂	о	о	о	у	у
Ag-8ZnO	о	п	о	у	у
Ag-(10-20)Ni	п	о	п	о	у
Ag-(30-40)Ni	у	у	у	о	у
Ag-(3-5)C	о	о	п	п	у
Ag-(50-70)W	у	п	о	п	п

Итак, разрывные электроконтакты, основой которых является серебро, в качестве функциональной добавки, придающей контактам высокий уровень служебных свойств, часто используются оксиды металлов. Наиболее эффективными в этом отношении признаны: оксид кадмия (CdO), используемый для этих целей уже более 60 лет (впервые предложен в 1939 г. [44]), и диоксид олова (SnO₂ – предложен в 1949 г. [45]). Диоксид олова широко используется только в последние десятилетия, приходя на замену токсичному оксиду кадмия. По этой системе опубликовано множество патентов, см., например [46]. Нашли также некоторое применение оксиды меди и цинка [47-50].

Для больших токов и относительно высоких напряжений используют композиции с тугоплавкими металлами Mo, W (табл. 1, 2) и карбидами WC, TiC [51].

Еще в 1939 г. для тяжело нагруженных реле был предложен материал Ag-Ni [52]. Контакт-детали из этого псевдосплава широко используются и в настоящее время. Их область применения охватывает средненагруженные контакторы и магнитные пускатели, реле автоматики железных дорог. В паре с контактом Ag-C он имеет прекрасные характеристики сваривания и применяется в автоматических выключателях. Есть также предложения использовать псевдосплавы с железом [53, 54].

Композит Ag-Ni получают прямым смешением порошков Ag и Ni и совместным осаждением солей из растворов. Детально технология этих псевдосплавов описана в [55] и включает обязательную холодную деформацию после твердофазного спекания порошков (экструзию, прокатку, волочение). Таким путем получают текстурированный материал с упорядоченно-ориентированной структурой [4]. Контакты системы Ag-Ni кроме высокой пластичности и хорошей прирабатываемости обладают также высокими тепло- и электропроводностью, коррозионной и эрозионной стойкостью, стабильным и низким переходным сопротивлением.

Возможно получение материала Ag-Ni внутренним окислением [4]. Разработан способ получения мелкодисперсной смеси порошков 0,5 – 1 мкм помолот смеси солей в вибромельнице

Таблица 2. Типичные приложения контактных материалов к различным типам низковольтных аппаратов

Область применения	Длительный ток	Прерываемый ток	Материал
Реле и вспомогательные контакты	$\leq 10A$	$\leq 100A$	Ag, AgCu (3-10 Cu) AgCdO (10-15 CdO) AgNi (10-20 Ni)
Контакты	$\leq 10A$ $> 10A$	$\leq 150 A$ $> 150A-10kA$	AgNi (10-20 Ni) AgCdO (10-15 CdO) AgSnO ₂ (8-12 SnO ₂)
Автоматические выключатели (стандарты США)	$\leq 125A$	$\leq 10kA$	MoAg (25-50 Ag) WAg (50 Ag)
Коммутационные выключатели, используемые в жилых помещениях	$\leq 30 A$	$\leq 10kA$	WAg (25-50 Ag) MoAg (Ag-обогащен. пов-сть) AgCdO (10-15 CdO) AgZnO (8-10 ZnO) AgSnO ₂ (8-10 SnO ₂)
Автоматические выключатели (Европейские стандарты)	$\leq 63 A$	$\leq 10kA$ $> 10kA$	AgCdO (10-15 CdO) AgSnO ₂ (10-12 SnO ₂) AgC (3-5 % C) + Cu AgC (3-5 C)+AgNi (40-50 Ni) AgZnO (8 ZnO) MoAg (25-50 Ag), WAg
Промышленные автоматические выключатели без дополнительных дугогасящих контактов	$\leq 400 A$ $\leq 800 A$	$\leq 25kA$ $\leq 100 kA$	AgC (3-5 C)+AgNi (40-50 Ni) AgC (3-5 C)+WAg (25-50 Ag) WAg (25-50 Ag) WCAg (35-50 Ag) MoAg (30-50 Ag)
Автоматические выключатели с главными и дугогасящими контактами	$> 400 A$	$< 150kA$	Главные контакты: AgNi (20-40 Ni) AgCdO (10-15 CdO) MoAg(50Ag), AgW(25-50W) WCAg (35-50 Ag) Дуговые контакты: WAg (20-35 Ag) WCu (30-50 Cu) WCAg (30-40 Ag)

с последующим восстановлением. Способ пригоден для шихты Ag-Ni и Ag-Ni-C [56]. Он проще и производительнее химического способа соосаждения солей.

Большое преимущество контактов Ag-Ni – их технологичность: они не нуждаются в дополнительном слое (так называемом подслое) для пайки на контактодержатель. Немаловажное обстоятельство – возможность экономии до 40 % серебра. В связи с этим до сих пор продолжают работы по совершенствованию материала [57-59]. Ранее [60] изучены контакты состава Ag-10Ni-3C, показавшие не только высокое сопротивление при вариванию, но и высокую скорость эрозии в дуге. Авторы [57] к той же основе добавляли малое количество графита – 0,5 и 1 %. Выяснилось, что скорость эрозии в аппарате и свариваемость заметно возрастают. В патентах [58, 59] предлагается в композицию Ag-Ni ввести оксид никеля, что, по мнению авторов, улучшает служебные свойства контактного материала.

Таблица 3. Свойства некоторых серебрясодержащих сплавов и композиционных материалов электроконтактного назначения (состав, мас. %)

Материал	Плотность, г/см ³	T _{пл.} , °C	Электрическое сопротивление, мкОм·см	Температурный коэффициент электрического сопротивления, К ⁻¹ ·×10 ⁻³	Теплопровод- ность, Вт/м·К	Модуль Юнга, кН/мм ²	Твердость, Н/мм ² , ×10 ²
1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	10,5	960	1,59	4,1	419	79	3-7
Ag-10Cd	10,3	910-925	4,3	1,4	150	60	3,6-10
Ag-15Cd	10,1	850-875	4,8	2	109	60	4,0-11,5
Ag-3Cu	10,4	900-934	1,92	3,2	385	85	4,5-9,5
Ag-5Cu	10,4	905-940	1,96	3	380	85	5-10
Ag-10Cu	10,3	779-875	2,08	2,8	335	85	6,5-12
Ag-20Cu	10,2	779-810	2,17	2,7	335	85	8-13
Ag-30Pd	10,9	1150-1220	15,6	0,4	60	116	7-14
Ag-40Pd	11,1	1225-1285	20	0,36	46	134	7,5-15
Ag-50Pd	11,2	1290-1340	33,3	0,23	33,5	137	8-16
Ag-60Pd	11,4	1330-1385	41,7		29,3		10-18
Ag-30Pd-5Cu	10,8	1120-1165	15,4	0,37		108	9-17
Ag-0,15Ni	10,5	960	1,7	4	414	85	4,5-9
Ag-10Ni	10,2	960	2,0	3,5	310	84	5-11
Ag-20Ni	10,0	960	2,2	3,5	270	98	6-10,5
Ag-30Ni	9,8	960	2,4	3,4	240	115	6,5-11,5
Ag-40Ni	9,7	960	2,7	2,9	210	129	7,5-12
Ag-50Ni	9,6	960	3,1		185	145	7,5-13
Ag-60Ni	9,4	960	3,7		155	160	8-14
Ag-70Ni	9,3	960	4,0		140	170	8-15,5
Ag-3C	9,0	960	2,1	3,5	325		4,2
Ag-5C	8,5	960	2,3	3,3	318		4,0
Ag-10C	7,4	960	2,9				3,1
Ag-15C	6,5	960	4,5				2,6
Ag-25C	5,1	960	14,5				
Ag-50C	3,2	960	23				
Ag-70C	2,6	960	53				
Ag-90C	2,14	960	87				
Свойства некоторых материалов для скользящих контактов							
Ag-5Cu-10C	6,8	905-940	4,7				
Ag-48,5Cu-3C	8,3	779-875	4,0				5,2
Ag-47,5Cu-7C	7,4	779-875	8,0				
Ag-35Cu-30C	4,2	779-815	63,6				
Ag-69,75Cu-5C	8,2	779-945	3,2				5,2
Ag-72Cu-3C	8,3	779-960	5,3				7,1

Ряд серебросодержащих составов материалов электроконтактного назначения и их свойства обобщены в табл. 3 [26].

В некоторых применениях важнейшим свойством контактов является стойкость к свариванию, которое обеспечивает надежное отключение тока при аварийных ситуациях. Такое требование предъявляется к автоматическим выключателям, реле сигнализации железных дорог, терморегуляторам (например, электроутюгов) и т.п. Для этих целей используются спеченные материалы Ag-C с содержанием углерода в виде графита обычно в пределах 2-5 %, а иногда, в случае больших токов, до 10-20 % [4, 43, 61]. Присутствие в матрице 3-5 % C практически исключает приваривание контактов за счет разупрочнения материала и снижения площади соприкосновения металла. Твердость такого материала низка – $HV \cong 40$ [36], а дуговая эрозия велика. Причины этого – малая прочность включений и отсутствие адгезионной связи матрицы и включений. Опубликованы [62] результаты исследований влияния технологических особенностей и размера частиц графита на свойства контактов Ag-5C. Уменьшение размеров графитовых включений ведет к росту потерь от воздействия дуги, но стойкость к свариванию возрастает.

Есть предложения [63] по введению углерода в виде волокон, которые, по-видимому, несколько упрочняют материал, по сравнению с добавками графита, что ведет к улучшению эксплуатационных свойств.

Для увеличения прочности в контакты с углеродом добавляют никель. Комбинированный контакт Ag-(10...30)Ni-3C сохраняет высокую стойкость против сваривания, низкое контактное сопротивление при лучших механических характеристиках и меньшей стоимости. Известен состав Ag-29Ni-3C-1Cd, имеющий $HV = 84$ [4]. Дополнительное легирование кадмием несколько улучшает эрозионную стойкость. Здесь также сообщается об отрицательном эффекте измельчения графитовых частиц в таком материале.

Не умаляя значения других электроконтактных материалов, необходимо отметить доминирующее положение по совокупности служебных свойств контактов на основе композиций Ag-CdO. Используется материал уже более 60 лет, но, несмотря на его экологическую опасность, до настоящего времени продолжают исследования, направленные на его совершенствование и углубленное изучение свойств [64-67].

По современным представлениям использование CdO в электроконтактном материале дает многогранный эффект: дисперсионное твердение улучшает механические свойства, присутствие частиц CdO в расплавленной ванне катодного пятна увеличивает вязкость расплава, уменьшая разбрызгивание, диссоциация CdO приводит к понижению тепловой нагрузки на матрицу и одновременно способствует понижению стабильности дуги и ее температуры; испарение и разложение CdO дают большой объем газа, который сдувает дугу и заставляет ее перемещаться по контакту, способствуя деконцентрации тепловой энергии (отдувной эффект). Кроме того, CdO, обладая высокой летучестью и малым удельным сопротивлением ($r = 0,01...0,5$ Ом см) [40], не создает изолирующей пленки на поверхности контакта, оставляя переходное сопротивление низким и стабильным. Кроме того, считается, что присутствие кислорода (являющегося мощным акцептором электронов) в плазме дуги способствует дугогашению за счет снижения в ней концентрации электронов.

Однако полной ясности в этом вопросе нет. Испытано множество других оксидных добавок, обладающих сходными свойствами, но ни один из них не сравним с CdO. Наглядный

пример – испытания материалов на основе серебра с добавками 12,5 об. % оксида в контакторе переменного тока $U = 220$ В, $I = 160$ А. Получены следующие значения эрозионного износа, г/цикл $\times 10^6$ (всего сделано 20 000 циклов В-О) [36]:

Оксид-добавка	CdO	CuO	Sb ₂ O ₃	ZnO	Mn ₃ O ₄	PbO
Скорость эрозии	1,45	5,60	4,08	20,0	4,05	22,5

Единственный оксид, в какой-то мере составивший конкуренцию CdO (в значительной степени – из-за экологической безопасности), – оксид олова SnO₂. Контакты с добавкой 12 % SnO₂ или SnO₂+In₂O₃(Bi₂O₃, WO₃, MoO₃) известны достаточно давно, они отвечают экологическим требованиям, и их изучение интенсивно продолжается (обычно в сравнении с Ag-CdO) [64, 66-70]. Судя по литературным данным, контакты Ag-SnO₂ обладают хорошими эрозионными характеристиками и в некоторых применениях вполне заменяют кадмиевые, хотя встречается много противоречивых результатов. Наряду с углубленным изучением фундаментальных особенностей электроконтактного поведения данной системы публикуется большое количество патентов с предложениями по новым составам и технологическим вариантам реализации статистически однородной, высокодисперсной микроструктуры композита (см. например, [48, 71-75]).

В работе [64] на основе исследований и анализа даются заключения по токовому диапазону применения серебро-оксидных композиций: Ag-CdO – 50-3000 А, Ag-SnO₂ – 500-3000 А, Ag-ZnO – 3000-5000 А. Ограниченно применим также материал с оксидом меди Ag-CuO [47, 64, 76]. Он иногда используется в сильно нагруженных контактах постоянного и переменного тока, переключателях тепловозов и т.п.

Контакты системы Ag-CdO содержат, как правило, 10-15 мас. % CdO и производятся различными методами: (1) – традиционным смешением порошков Ag и CdO, (2) – совместным осаждением солей, (3) – внутренним окислением порошков сплава Ag-Cd или заготовки контакта из такого же сплава. Второй и третий способы дают мелкодисперсную структуру с размером включений 0,1-10 мкм, в то время как смешение порошков дает включения 30-50 мкм. Практически все свойства мелкодисперсного сплава выше, чем у традиционного (табл. 3). Особенно высока эрозионная стойкость: в 2-5 раз выше порошкового контакта [30]. На рис. 1 приведены зависимости твердости и удельного электрического износа контактов из материала 85Ag-15CdO от дисперсности частиц оксидной фазы [77]. Как видно, и прочностные свойства, и сопротивление дуговому износу весьма существенно зависят от этого параметра. Измельчение второй фазы в данном случае благоприятно.

Это пытаются объяснить особыми условиями формирования плазменных факелов на мелкодисперсных материалах Ag-CdO и Ag-Ni [78]. Еще одно возможное объяснение: скорость движения основания дуги на мелкодисперсных контактах выше, так как перескок места привязки дуги здесь облегчен [79, 80]. Концентрация тепла снижается, а значит, падает и тяжесть локальных повреждений поверхности. Это объяснение представляется более вероятным, хотя, по-видимому, и не исчерпывающим.

Технологические способы (2) и (3) дают приблизительно одинаковую дисперсность CdO (≤ 1 мкм), но при тяжелых режимах работы оказался более предпочтительным спеченный материал. Плавленный, внутритроксиленный контакт разрушается раньше из-за появления трещин,

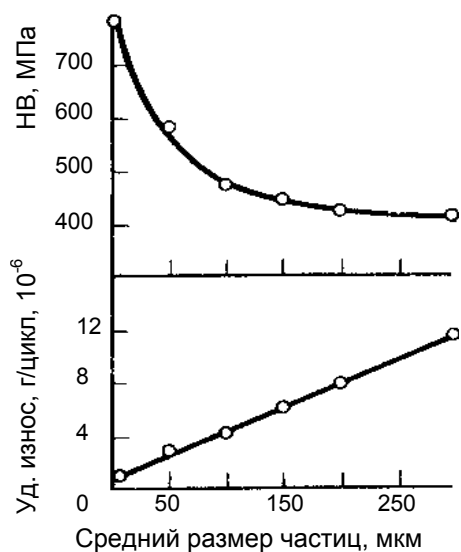


Рис. 1. Влияние дисперсности включений оксидной фазы на служебные свойства контактов 85Ag-15CdO [77]

идущих с поверхности по границам зерен [36]. Несколько улучшает положение следующая за окислением холодная деформация.

Еще более сильное влияние оказывает структура материала на работоспособность слаботочных контактов. В табл. 4 приведены результаты исследования износа контактов из серебра (99,99 %) и сплава серебра с палладием (70 Ag-30 Pd) при коммутации постоянного тока $I = 2$ А, $U = 24$ В [81]. Те и другие контакты изготовлены двумя методами: литьем и порошковой металлургией.

Если не принимать во внимание различия химического состава на уровне малого содержания примесей, то контакты отличаются только структурой материала (плавленные – более крупнозернистые) и, в некоторой степени, прочностными свойствами, пластичностью. Однако характер износа существенно различен. На литых контактах наблюдается мощный

перенос с катодного на анодный электрод с образованием кратера и пика соответственно, в то время как на порошковых скорость эрозии несравненно меньше на обоих электродах.

Более-менее полного, убедительного и обоснованного объяснения обнаруженному явлению не найдено. Это, однако, еще раз свидетельствует в пользу электроконтактных материалов, получаемых методами порошковой металлургии, позволяющими в широких пределах варьировать состав и структуру материала за счет различных технологических вариантов.

Для улучшения качества пайки композитов на контактодержатель делают подслоя из серебра или никеля, прессуя его одновременно с основным рабочим слоем материала. Толщина подслоя составляет обычно 0,15-0,25 мм.

Описана технология изготовления Ag-CdO и Ag-SnO₂ контактов из распыленных порошков Ag-Cd и Ag-Sn [66] (метод ИОАР – internal oxidation of alloyed powder). Жидкий сплав при температуре около 1470 К распыляли водой под давлением 34 МПа с получением порошка размером – 44 мкм. Порошки окисляли при различных температурах от 753 до 973 К, от чего зависела морфология оксидных включений. Далее прессовали заготовки ($P = 175...700$ МПа), спекали в течение часа при 1083 К, а затем допрессовывали ($P = 1230$ МПа). Полученный материал, как сообщают, имел хорошие электроконтактные свойства.

Подобный процесс лежит в основе производства контактного материала, предложенного в патенте [73]: расплав Ag-Sn-Bi распыляется и далее порошок подвергается внутреннему окислению. Из внутриокисленного порошка прессуются заготовки, которые затем подвергают горячей экструзии и прокатке. Способ дает размер оксидных включений в диапазоне 0,1-1,0 мкм. Здесь же предложен и второй способ, приводящий приблизительно к тому же результату, который заключается в распылении растворов солей серебра и олова при температуре порядка 950 °С. Полученный порошок далее используется для получения целевого материала.

Таблица 4. Сравнительная характеристика износа контактов, полученных различными методами

Материал контакта	Метод изготовления	Изменение массы электрода, $\Delta g \times 10^8$, г/цикл В-О	
		Анод	Катод
Ag	Литье	+49,0	-32,0
Ag	Порошковый	-15,0	-1,7
Ag-30Pd	Литье	+18,0	-22,0
Ag-30Pd	Порошковый	+2,2	-3,4

Улучшения качества материала пытаются достичь также малыми добавками оксидов, способствующих лучшему смачиванию CdO расплавом серебра: это например, оксиды меди, германия, тантала [65], добавленные в количестве 0,15...0,43 %. Добавка 0,15 % GeO_2 увеличивает стойкость к дуговой эрозии при длительной работе, в то время как Cu_2O приводит к появлению трещин и ускоренному разрушению контактов. Отмечается, что все добавки приводят к росту эрозии на токах более 50 А, особенно Ta_2O_5 .

Интересный состав композиционного материала и способ его изготовления предложены в патентах [82, 83]: $\text{Ag}-(4...15)\text{CdO}-(2...8)\text{Ni}$. Тонкие включения никеля оксидированы, т.е. заключены в тонкую оболочку оксида никеля, что предотвращает деградацию материала из-за восстановления оксида кадмия никелем.

Изучено влияние добавок оксидов висмута, олова, индия и вольфрама в количестве 5 % к композиции Ag-10CdO [84]. Авторы измеряли эрозионную стойкость в условиях стационарного межконтактного промежутка при токовых нагрузках 100 и 150 А на контактах, приготовленных по одинаковой технологии. Скорость эрозии на контактах $\text{Ag-10CdO-5Bi}_2\text{O}_3$ (относительно стандартного состава) снизилась почти в два раза. Такая же добавка SnO_2 почти не изменила износ, а добавки In_2O_3 и WO_3 увеличили его, соответственно, в 1,9...2,4 и в 4,5...5,5 раз. Авторы объясняют эти результаты на основании металлографических и рентгенофазовых данных изменениями в слое наработки с учетом химического взаимодействия добавки с основой. Отмечается определяющая роль теплофизических свойств частиц-добавок в воздействии на эрозионные характеристики материала.

Эти же авторы изучали влияние деформации на структуру и эрозионную стойкость Ag-CdO -контактов [80]. Оказалось, что существует явная тенденция снижения стойкости к дуговому износу при увеличении предварительной деформации осадкой. После некоторой пороговой степени деформации (29...43 %) стойкость резко снижается (примерно в два раза). Авторы объясняют это появлением микронесплошностей в материале.

Изложенное демонстрирует многогранность материала электрического контакта. Даже в таком известном материале, как Ag-CdO , до сих пор находятся возможности его улучшения и неизвестные нюансы влияния состава, технологии и структуры (см. также, например, [82, 83]).

В табл. 5 приведен перечень основных электроконтактных материалов, применяемых и производимых в России [4, 38, 77]. Для сравнения здесь же перечислены материалы аналогичного назначения на медной основе. Электропроводность, твердость, плотность материалов, а следовательно, и их эрозионная стойкость существенно зависят от применяемой технологии. В

Таблица 5. Магериалы разрывных средне- и сильноточных контактов [4, 38, 77]

Марка контакта	Состав		Плотность, г/см ³	Твердость, НВ	Удельное сопротивление, мкОм·м	Удельная теплопроводность, Вт/(м·К)	Предел прочности при растяжении, МПа	Относит. удлинение, Δl/l, %
	Компоненты	Мас. %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КМК-А00	Ag	99,9	10,2	50	0,019	–	80	59
КМК-А10м	Ag/CdO	85/15	9,90	105	0,028	305	330	9
КМК-А10мд	Ag/CdO	85/15	10,1	110	0,028	311	345	9
КМК-А20м	Ag/CuO	90/10	9,80	75	0,025	–	220	23
СОМ8	Ag/CuO	90/10	10,00	40	0,023	–	180	3
КМК-А30	Ag/Ni	70/30	9,80	75	0,030	255	220	18
КМК-А30м КМК-А30мн	Ag/Ni	70/30	9,90	100	0,029	210	270	20
КМК-А30мд	Ag/Ni	70/30	10,0	100	0,028	214	280	20
КМК-А31	Ag/Ni	60/40	9,70	80	0,035	230	240	17
КМК-А31м	Ag/Ni	60/40	9,80	115	0,035	240	320	15
КМК-А41 КМК-А41н	Ag/C	97/3	9,30	50	0,026	–	–	–
КМК-А40	Ag/C	98/5	8,70	40	0,037	400	–	–
КМК-А32 КМК-А32н	Ag/Ni/C	68/29/3	8,90	65	0,045	355	110	2
КМК-А33мд	Ag/Ni/C	69/29/2	9,50	95	0,035	–	–	–
КМК-А50	Ag/Cd/Ni/ /Fe	76,3/22,3/ /0,8/0,4	9,8	70	0,07	200	210	61
КМКрКдИн	Ag/Cd/In /Cu	73,5/25 /1,0/0,5	10,5	47	0,066	–	250	50
Медь литая М0, М1	Cu	99,9-99,95	8,96	44	0,017	400	300	60
КМК-Б00	Cu	99,5	8,60	65	0,021	–	230	–
МК	Cu/Cd	99/1	8,90	55	0,023	–	320	–
КМК-Б30	Cu/Cd	99/1	8,60	80	0,025	420	300	–

Продолжение табл. 5

КМК-Б10	Cu/C	97/3	7,30	35	0,040	380	–	–
КМК-Б11	Cu/C	97/5	6,80	30	0,050	–	–	–
КМК-АМо50	Ag/Mo	50/50	10,2	120	0,028	–	–	–
КМК-А45	Ag/W/Ni	47/50/3	13,80	140	0,041	275	300	7
КМК-А25	Ag/W/Ni	27/70/3	15,40	210	0,045	230	430	4
КМК-Б45	Cu/W/Ni	47/50/3	12,50	150	0,070	190	510	7
КМК-Б25	Cu/W/Ni	27/70/3	14,20	200	0,070	134	600	4
КМК-БМо50	Cu/Mo	50/50	9,5	130	0,038	–	–	–
КМК-БМо80	Cu/Mo	20/80	10,1	220	0,047	–	–	–
КП-МД30	Cu/Mo/BN	27/72,8/0,2	9,8	200	0,060	–	360	11
КП-ЖДВи	Fe/Cu/Вi	70/27/3	8,0	150	0,11	–	–	–
ХД50В-МП	Cr/Cu/W	47/50/3	7,9	75	0,060	–	270	8
МВиБ	Cu/Вi/В	99,6/0,038/ 0,02	8,92	55	0,019	–	80	≤1
Д30-1-МП	Fe/Cu/Sb	70/26/4	7,92	160	0,130	–	175	~2

Обозначения: КМК – контакт металлокерамический, А – на основе серебра, Б – на основе меди, м – мелкодисперсный, д – двойная допрессовка с промежуточным отжигом, н – с подслоем из никеля.

Основные ГОСТы и ТУ: ГОСТ 13333-83, ГОСТ 19725-74, ТУ 16-685.020-85, ТУ 16-538-400-83, ТУ 14-1-3920-85.

то же время широкий спектр контактов с различными свойствами позволяет сделать нужный выбор применительно к конкретному назначению.

2. Новые применения серебра

В [85] сообщено о возможности создания высокочувствительных к СО сенсоров на основе наноструктур SnO₂, легированных серебром. Для создания сенсоров сероводорода H₂S использованы SnO₂-Ag₂O и SnO₂-Ag [86].

Авторами работы [87] показано, что легирование 3-5 масс. % Ag сверхпроводящей керамики YBaCuO приводит к увеличению ее микропластичности и прочности.

Для изменения электрофизических свойств элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений применяют легирование серебром. Естественно, что на такие цели расходуется незначительное количество серебра. Но для понимания особенностей поведения Ag в таких материалах проводятся специальные исследования [88-93].

На основе галогенидов серебра созданы инфракрасные световоды [94, 95].

На основе серебра исследуются полупроводниковые соединения [96-100], халькогенидные [101-118], оксидные [119-121] и смешанные [122-125] стекла.

В последние годы уделяется много внимания наноматериалам, в том числе и из серебра [126-152]. Это связано с тем, что наночастицы серебра обладают уникальным набором ценных свойств, благодаря которым они служат материалом для создания электронных, оптических, сенсорных устройств нового поколения [140]. Тем не менее, не стабилизированные наночастицы серебра подвергаются быстрому окислению и легко агрегируют в растворах. Это, естественно, затрудняет их применение при создании сенсорных и оптических устройств. Поэтому много работ посвящено разработке методов получения эффективной стабилизации таких частиц и взаимодействию серебра с различными средами [133, 136, 138, 140, 146-148, 153-163].

С древности по настоящее время серебро (в последние годы – особенно наносеребро) применяется в медицине для лечения ран, язв, для стерилизации и увеличения сроков хранения лекарственных препаратов, в стоматологии, а также в биологии [1, 126, 164-188]. Препараты, содержащие серебро, активны против многих возбудителей раневых инфекций (*Staphylococcus* spp., *E. Coli*, *P. aeruginosa*, *Proteus* spp., *Klebsiella* spp.).

Согласно [189, 190] серебро проявляет высокую бактерицидную активность как по отношению к аэробным и анаэробным макроорганизмам (в том числе и антибиотикорезистентным штаммам), так и к некоторым вирусам и грибам. При этом нужно принимать во внимание тот факт, что резистентность микроорганизмов редка, и ее можно преодолеть увеличением концентрации препарата. В то же время большие концентрации ионов серебра могут оказывать на организмы ядовитое действие. В течение длительного времени считалось однозначно доказанным, что лечебными свойствами обладают ионы Ag⁺, а не металлическое серебро. Тем не менее вопрос о механизме действия наночастиц серебра на вирусы, бактерии и клетки до настоящего времени остается окончательно не выясненным и требует дополнительных исследований.

При передозировке серебра возможно развитие аргирии (возникновение пигментаций кожи, слизистых оболочек, внутренних органов, глаз) [191]. Замечено, что люди с признаками аргирии не подвержены инфекционным заболеваниям.

При работе с антибиотиками установлено, что спектр их действий узок, а вредные микроорганизмы слишком быстро к ним адаптируются. Поэтому в последнее время уделяется пристальное внимание хорошо проверенным средствам терапии с участием серебра.

Серебро и сплавы на его основе используются для создания омических контактов к полупроводникам Ge, Si, GaAs, GaP, GaSb, CdS, ZnTe [192].

Фотоэмиссионные катоды с высокой эффективностью работают на следующих материалах: Ag-O-Cs, Bi-Ag-O-Cs [192].

В ювелирных изделиях по-прежнему важную роль играют серебро и сплавы на его основе [193-199].

Аналитическая химия серебра достаточно полно изложена в монографии [200], а также в более поздних трудах [174, 201]. Наночастицы серебра сами могут использоваться для усиления сигнала органических соединений в спектроскопии [140] и электрохимическом анализе биологических объектов [174].

Необычные оптические свойства частиц серебра использовали древние стекловары [140, 202]. В кубке Ликурга (IV век н.э.), находящегося в экспозиции Британского музея, в бронзовой оправе содержатся вставки из окрашенного стекла. Проведенный анализ этого стекла показал, что оно содержит металлические наночастицы со средним диаметром порядка 40 нм. В своем составе эти наночастицы содержат 70 % Ag и 30 % Au. Благодаря им стекла приобретают красный цвет в проходящем свете и зелено-серый – в отраженном [140]. Серебро применено для придания лимонно-желтого цвета стеклам, используемым в старых соборах Европы. Желтый цвет стеклу можно придать разными способами: оксидами железа (трудно добиться постоянства окраски); сульфидом кадмия (при некоторых условиях он превращается в оксид кадмия, что делает стекло непрозрачным); азотнокислым серебром (в процессе варки стекла из AgNO₃ выделяется мелкодисперсное серебро, равномерно распределенное по стеклу). В последнем случае образуется бесцветное стекло, а окраска появляется при наводке – повторном нагреве уже готовых изделий. Заметим, что с помощью солей серебра можно наносить золотисто-желтую окраску на отдельные участки стеклянных изделий. Особенно хорошо окрашиваются высококачественные свинцовые стекла. Кроме коллоидного серебра, желтую окраску стеклам придают еще CrO₃ и NiO [203].

Заключение

Трудно перечислить все современные отрасли применения серебра. Тем не менее основной принцип его применения, обусловленный дефицитностью и высокой стоимостью («экономить везде, где это возможно, применять только там, где это абсолютно необходимо» [4]), еще никто не отменял, или, по крайней мере, не создал предпосылки для его отмены. Можно полагать, что будут выявлены новые области и направления применения серебра (как это было, например, с наносеребром).

Список литературы

1. Третьяков Ю.Д. Неорганическая химия / Ю.Д. Третьяков, Л.И. Мартыненко, А.Н. Григорьев, А.Ю. Цивадзе. – М.: Химия, 2001. – Т.2. – 583 с.
2. Фенглер Х. Словарь нумизмата / Х. Фенглер, Г. Гироу. – М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.

3. Лашко С.В. Пайка металлов / С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
4. Мастеров В.А. Серебро, сплавы и биметаллы на его основе / В.А. Мастеров, Ю.В. Саксонов. – М.: Металлургия, 1979.- 296 с.
5. Панасюк А.Д. Стойкость неметаллических материалов в расплавах / А.Д. Панасюк, В.С. Фоменко, Г.Г. Глебова. – Киев.: Наук. думка, – 1986. – 352 с.
6. Шукшенцева В.А. Вторичное серебро / В.А. Шукшенцева. – М.: Легкопромбытгиздат, 1990. – 63 с.
7. Терешков С.Г. Извлечение серебра с регенерацией основы кинофотоматериалов/ С.Г. Терешков, Е.А. Продан // Техника кино и телевидения. – 1985. – № 11. – С. 24 – 28.
8. Оуян Фен. Роль поверхностных оксидов азота в активации пропена и восстановлении NO на Ag/Al₂O₃ / Фэн Оуян, Масааки Хаведа, Вэй Сунь, Йошиаки Киндайчи, Хидаки Хокамада // Кинетика и катализ. – 2008. – Т.49, № 2. – С. 249 – 257.
9. Воронова Г.А. Роль кислотно-основных свойств поверхности серебряных катализаторов в парциальном окислении этиленгликоля / Г.А. Воронова, О.В. Водянкина, Н.В. Белоусова, Е.В. Безруков, Л.Н. Курина // Кинетика и катализ. – 2003. – Т.44. – № 3. – С. 713 – 717.
10. Ламберов А.А. Изменение в процессе реакции и регенерации Pd – Ag/Al₂O₃ – катализатора селективного гидрирования ацетилена / А.А. Ламберов, С.Р. Егорова, И.Р. Ильясов, Х.Х. Гильманов, С.В. Трифонов, В.М. Шатилов, А.Ш. Зиятдинов // Кинетика и катализ. – 2007. – Т.48. – № 1. – С. 143 – 149.
11. Liu D.M. Microstructure and thermal conduction properties of Al₂O₃ – Ag composites / D.M. Liu, W.H. Tuan // Acta mater. – 1996. – V. 44. – № 2. – P. 813 – 818.
12. Smith J.R. Stoichiometric interfaces of Al and Ag with Al₂O₃ / J.R. Smith, W. Zhang // Acta mater. – 2000. – V. 48. – P. 4395 – 4403.
13. Zhao Wen-Bo. Photochemical synthesis of Au and Ag nanowires on a porous aluminium oxide template / Wen-Bo Zhao, Jun-Jie Zhu, Hong-Yuan Chen // J. Cryst. Growth. – 2003. – V. 258. – P. 176 – 180.
14. Худяков И.Ф. С.В. Металлургия вторичных тяжелых цветных металлов / И.Ф. Худяков, А.П.Дорошкевич, С.В. Карелов. – М.: Металлургия, 1987. – 528 с.
15. Stockel D. Entwicklungsrichtungen der Werkstoffe für Elektrische Kontakte / D. Stockel // Metall (W.Berlin). – 1983. – V. 37. – № 1. – S. 30-36.
16. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М.: Иностран. лит., 1961. – 462 с.
17. Windred G. Electrical contacts / G. Windred. – London, 1940. – 403 p.
18. Jones F.L. The physics of electrical contacts / F.L. Jones. – Oxford, 1957. – 219 p.
19. Усов В.В. Металловедение электрических контактов / В.В. Усов – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 208 с.
20. Раховский Р.И. Разрывные контакты электрических аппаратов / Р.И. Раховский, Г.В. Левченко, О.К. Теодорович. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 283 с.
21. Декабрун И.Е. Контакты аппаратов низкого напряжения / И.Е. Декабрун // Итоги науки и техники. Серия электромеханика и энергетика. Электрические машины и аппараты. – М.: ВИНТИ, 1970. – С. 126 – 212.
22. Таев И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения / И.С. Таев. – М.: Энергия, 1973. – 423 с.

23. Омельченко В.Т. Теория процессов на контактах / В.Т. Омельченко. – Харьков: Вища школа, 1979. – 128 с.
24. Справочник по расчету и конструированию контактных частей высоковольтных электрических аппаратов / под ред. В.В.Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 384 с.
25. Electrical contacts: principles and applications / Ed. by Paul G. Slade. – New York, 1999. – 1073 p.
26. Braimov M. Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology / M. Braimov, V.V. Konchits, N.K. Myshkin // CRC Press, New York. – 2006. – 639 p.
27. Таев И.С. Электрическая дуга в аппаратах низкого напряжения / И.С. Таев. – М.: Энергия, 1965. – 223 с.
28. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей / Г.В. Буткевич. – М.: Энергия, 1973. – 263 с.
29. Намитокос К.К. Электроэрозионные явления / К.К. Намитокос. – М.: Энергия, 1978. – 456 с.
30. Минакова Р.В. Электроконтактные материалы, пути экономии вольфрама и благородных металлов / Р.В. Минакова, Г.Н. Братерская, О.К. Теодорович // Порошковая металлургия. – 1983. – № 3. – С. 69-80.
31. Теория электрических аппаратов / под ред. Г.Н. Александрова. – М.: Высшая школа, 1985. – 312 с.
32. Стручков А.И. Оценка скорости эрозии и параметров катодного пятна первого типа/ А.И. Стручков // ЖТФ. – 1978. – Т. 48. – № 2. – С. 307-311.
33. Стручков А.И. Скорость эрозии и параметры катодного пятна 1-го типа серебряных сплавов/ А.И. Стручков, Н.Л. Правозеров // ЖТФ. -1978. -Т. 48, № 11. – С. 2309-2312.
34. ГОСТ 403-73. Аппараты электрические на напряжение до 1000 В.
35. Проектирование электрических аппаратов /под ред. Г.Н.Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 447 с.
36. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы / под ред. В. Шатта. – М.: Металлургия, 1983. -519 с.
37. Спеченные материалы для электротехники и электроники: справочник / под ред. Г.Г. Гнесина. – М.: Металлургия, 1981. – 343 с.
38. Справочник по электротехническим материалам. Т.3 / под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 726 с.
39. Левинский Ю.В. Диаграммы состояния металлов с газами / Ю.В. Левинский. – М.: Металлургия, 1975. – 295 с.
40. Лазарев В.Б. Электропроводность окисных систем и пленочных структур / В.Б. Лазарев, В.Г. Красов, И.С. Шаплыгин. – М.: Наука, 1979. – 168 с.
41. Mulucci R.D. Dynamic model of stationary contacts based on random variations of surface features / R.D. Mulucci // IEEE Trans. CHMT-15. 1992. – №3. – P. 339-347.
42. Иванов В.В. Физико-химические основы технологии и материаловедение порошковых электроконтактных композитов / В.В. Иванов. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 234 с.
43. Des Forges C.D. Sintered materials for electrical contacts / C.D. Des Forges // Powder Met. – 1979. – V. 22. – № 3. – P. 138-144.

44. Hensel F.R. Electric contact material / F.R. Hensel // US Patent 2,145,690. – 1939.
45. Stumbock Max J. Electrical contact element containing tin oxide / Max J. Stumbock // US Patent 2,486,341. – 1949.
46. Jost E.M. Electrically Conductive Material and Method of Making / E.M. Jost, K. McNeilly // US Patent 5,963,772. – 1999.
47. Усов В.В. Контакты COM-8. В кн. Электрические контакты / В.В. Усов, Е.М. Муравьева. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – С. 258-268.
48. Satoh M. Electrical contact material of silver base alloy (silver and a small amount of zinc oxide, tellurium oxide, and optionally indium oxide and tin oxide) / M. Satoh, M. Hijikata, H. Maeda, I.Morimoto // US Patent 4,131,458. – 1978.
49. Nakamura T. Method for preparing Ag-ZnO electric contact material and electric contact material produced thereby / T. Nakamura, O. Sakaguchi, H. Kusamori, Matsuzawa, M. Takahashi, T. Yamamoto // US Patent 6,432,157. – 2002.
50. Lin Bai Xiaoping Method for preparing silver copper oxide electric contacting material / Bai Xiaoping Lin // CN Patent 101053903. – 2007.
51. Hoyer N.S. Electrical contact material of TiC, WC and silver / N.S. Hoyer, P.O. Slade, R. Kossowsky // US Patent 4,137,076. – 1979.
52. Brooker H. A new material for heavy duty / H. Brooker // Electrical Rev. – 1942. – № 3365. – P.651.
53. Hauner F. Silver-based contact material, use of such a contact material, in switchgear for power engineering applications and method of manufacturing the contact material / F. Hauner // US Patent 5,796,017. – 1998.
54. Hauner F. Process for producing a product made of a contact material based on silver, contact material and product made of the contact material / F. Hauner // US Patent 6,056,916. – 2000.
55. Stevens A.J. Powder-metallurgy solutions to electrical-contacts problems / A.J. Stevens // Powder Metallurgy. – 1974. – V. 17. – № 34. – P. 331-346.
56. Альтман А.Б. Металлокерамика в электропромышленности / А.Б. Альтман, А.И. Годес, И.П. Мелашенко и др. // Электротехника. – 1976. – № 5. – С. 11-15.
57. Wingert P. The effect of graphite additions on the performance of silver-nickel contacts // P. Wingert, R. Bevington, G. Horn // IEEE Trans. CHMT-14. – 1991. – № 3. – P. 95-100.
58. Tsuji K. Silver base electrical contact material and method of making the same / K. Tsuji, Y. Takegawa, H. Inada, S. Yamada (of 0.5 to 39.9 wt % of nickel, 0.14 to 7.0 wt % of nickel oxides, and balance silver) // US Patent 5,198,015. – 1993.
59. Tsuji K. Silver base electrical contact material and method of making the same / K. Tsuji, Y. Takegawa, H. Inada, S. Yamada (0.5 to 39.9 wt % of nickel, 0.14 to 7.0 wt % of nickel oxides, and balance silver) // US Patent 5338505. – 1994.
60. Keil A. Elektrische kontakte und ihre werkstoffe / A. Keil, W.A. Merl, E. Vinaricky Berlin: Springer-Verlag, 1984. chap.2.3.3. – P. 185-199.
61. Michal R. Metallurgical aspects of silver-based contact materials for air-break switching devices for power engineering / R. Michal, K.E. Saeger // IEEE Trans. CHMT-12. – 1989. – P. 71-81.
62. Wingert P., Allen S., Bevington R. Effects of Graphite particle size and processing on the performance of silver-graphite contacts / P. Wingert, S. Allen, R Bevington // IEEE Trans. CHMT-15. – 1992. – № 2. – P. 154-159.

63. Sinharoy S.D. Circuit breaker contact containing silver and graphite fibers / S.D. Sinharoy, J.L. McKee, N.S. Hoyer // US Patent 4,699,763. – 1987.
64. Schroder K.H. Silver-metal oxides as contact materials / K.H. Schroder // IEEE Trans. CHMT-10. – 1987. – P. 127-134.
65. Gustafson J.C. Arc-erosion studies of matrix-strengthened silver-cadmium oxide / J.C. Gustafson, H.J. Kim, R.C. Bevington // IEEE Trans. CHMT-6. – 1983. – P. 122-129.
66. Shen Y.S. Gould L. A study on manufacturing silver-metal oxide contacts from oxidized alloy powders / Y.S. Shen, L. Gould // IEEE Trans. CHMT-7. – 1984. – P. 39-46.
67. Wang K. Erosion on silver-base material contacts by breaking arcs / K. Wang, Q. Wang // IEEE Trans. CHMT-14. – 1991. – P. 293-297.
68. Michal R. Metallurgical aspects of silver-based contact materials for air-break switching devices for power engineering / R. Michal, K.E. Saeger // IEEE Trans. CHMT-12. – 1989. – P. 71-81.
69. Rieder W., Weichsler V. Make erosion mechanism of Ag-CdO and Ag-SnO₂ contacts / W. Rieder, V. Weichsler // IEEE Trans. CHMT-15. – 1992. – P. 332-338.
70. Muniesa J. Silver-tin oxide materials used in low voltage switching device / J. Muniesa // Electrical contacts. – 1990. – P. 139-142.
71. Chen Yu-Liang. Novel process for fabricating electrical contact SnCVAg composites by reciprocating extrusion / Yu-Liang Chen, Chih-Fu Yang, Jien-Wei Yeh, Shui-Shu Hung, Shin-Wei Lee // Metallurgical and materials transactions A. – 2005.- V. 36A. – P. 2447.
72. Bevington Powder metallurgy silver-tin oxide electrical contact material / R.C.Bevington // US Patent 5,258,052. – 1993.
73. Mayer U. Semifinished product for electric contacts made of a composite material based on silver-tin oxide and powdermetallurgical process / U. Mayer, R. Michal, K.E. Saeger // US Patent 5,360,673. – 1994.
74. Volker B. Material for electric contacts taking silver-tin oxide or silver-zinc oxide as basis / B. Volker, T. Honig, A. Kraus, K.E. Saeger, R. Schmidberger, T. Stanef // US Patent 5,610,347. – 1997.
75. Wolmer R. Method for producing composite powders based on silver-tin oxide, the composite powders so produced, and the use of such powders to produce electrical contact materials by powder metallurgy techniques / R. Wolmer, M. Mueller, F. Heringhaus, D. Ruehlicke, D. Goia // US Patent 6,409,794. – 2002.
76. благородные металлы: справочник /под ред. Е.М.Савицкого. – М.: Metallургия, 1984. – 592 с.
77. Либенсон Г.А. Производство порошковых изделий / Г.А. Либенсон. – М.: Metallургия, 1990. – 240 с.
78. Leis P. Der einfluss des kontakt-materials auf die austildung von plasmastrahlen / P. Leis, K. Schuster // Electric. – 1979. – № 10. – P. 514-516.
79. Levis T.J. Influence of the cathode surface on arc velocity / T.J. Levis, P.E. Secker // J. Appl. Phys. – 1960. – V. 32. – P. 54-64.
80. Правоверов Н.Л. Влияние деформации на структуру и свойства контактов из экструдированной композиции серебро-оксид кадмия / Н.Л. Правоверов, М.П. Афонин, Е.И. Малинина // Порошковая металлургия. – 1987. – № 6. – С. 60-65.
81. Францевич И.Н. Электрические контакты, получаемые методом порошковой металлургии /И.Н. Францевич // Порошковая металлургия. – 1980. – № 8. – С. 36-47.

82. Bornstein N.S. Composite silver base electrical contact material / N.S. Bornstein // US Patent 4,834,939. – 1989.
83. Bornstein N.S. Composite silver base electrical contact material / N.S. Bornstein // US Patent 4,874,430. – 1989.
84. Правоверов Н.Л. Влияние добавок оксидов индия, олова, висмута и вольфрама на свойства композиции серебро-оксид кадмия / Н.Л. Правоверов, М.П. Афонин, Л.В. Вяткин и др. // Порошковая металлургия. – 1986. – № 11. – С. 20-26.
85. Петрук В.Г. Сенсоры угарного газа CO на основе наночастиц SnO_x / В.Г. Петрук, А.Г. Кравец // ЖТФ. – 2007. – Т. 77. – Вып. 2. – С. 86 – 90.
86. Jiamping Li. H₂S sensing properties of the SnO₂ – based thin films / Li Jiamping, Wang Yue, Ma Qing, Wang Li, Han Jinghong // Sensors and Actuators. – 2000. – V 65. – P. 111 – 113.
87. Марков Л.К. Влияние содержания серебра на механические свойства ВТСП – керамики YBaCuO/Ag / Л.К.Марков, Т.С. Орлова, Н.Н. Песчанская и др. // ФТТ. – 2003. – Т. 45. – Вып. 9. – С. 1551 – 1555.
88. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках / А. Милнс. – М.: Мир, 1977. – 562 с.
89. Глазов В.М. Физико-химические основы легирования полупроводников / В.М. Глазов, В.С. Земсков. – М.: Наука, 1967. – 371 с.
90. Bollmann J. Doping and compensation phenomena of Ag in CdTe / J. Bollmann, H. Kerkow // J.Cryst. Growth. – 1996. – № 159. – P. 384 – 387.
91. Lyubomirsky I. Diffusion of Ag in Cd – rich mercury. Cadmium telluride Cd_xHg_{1-x}Te / I. Lyubomirsky, V. Lyakhovitskaya, R. Triboulet and other // J. Cryst. Growth. – 1996. – № 159. – P. 1148 – 1151.
92. Lyubomirsky I. Evidence for thermodynamically stable p/n junction, formed Ag doping of (Hg, Cd)Te / I. Lyubomirsky, V. Lyakhovitskaya, J.F. Guellemoles and other // J. Cryst. Growth. – 1996. – № 161. – P. 90 – 93.
93. Namann J. Identification of Ag – acceptors in ¹¹¹Ag/¹¹¹Cd doped ZnTe and CdTe / J. Namann, A. Burchard, M. Deicher and other // J. Cryst. Growth. – 2000. – № 214/215. – P. 207 – 211.
94. Жукова Л.В. Инфракрасные световоды на основе твердых растворов галогенидов серебра / Л.В. Жукова, А.С. Корсаков, А.В. Гусельников, А.И. Чазов // Вест. УГТУ – УПИ. – 2005. – № 5. – С. 219 – 221.
95. Жукова Л.В. Кристаллы для ИК – техники AgCl_xBr_{1-x} и AgCl_xBr_yI_{1-x-y} и световоды на их основе / Л.В. Жукова, Н.В. Примеров, А.С. Корсаков, А.И. Чазов // Неорг. материалы. – 2008. – Т. 44. – № 2. – С. 1516-1521.
96. Физико-химические свойства полупроводниковых веществ: справочник / под. ред. А.В. Новоселовой, В.Б. Лазарева. – М.: Наука, 1979. – 340 с.
97. Yang Jiang. Room temperature growth of rod – like nanocrystalline Ag₂Te in mixed solvent / Jiang Yang, Wu Yue, Yang Zhiping // J. Cryst. Growth. – 2001. – № 224. – P. 1 – 4.
98. Лаврентьев А.А. Электронно-электрическая структура полупроводниковых сульфидов As₂S₃, AsSI, AgAsS₂ и TiS₂ / А.А. Лаврентьев, Б.В. Габрельян, И.Я. Никифоров, В.Б. Воржев // Журнал структурной химии. – 2005. – Т. 46. – № 5. – С. 835 – 842.

99. Бикулова Н.Н. Динамика решетки и ионный перенос в структурно-разупорядоченных халькогенидах меди и серебра / Н.Н. Бикулова, А.И. Бескровный, Е.Л. Ядровский и др. // Кристаллография. – 2007. – Т. 52. – № 3. – С. 474 – 476.
100. Kurasova M. Preparation and characterization of AgGaS₂ thin films by vacuum evaporation / M. Kurasova, S. Kobayashi, F. Kaneko and other // J. Cryst. Growth. – 1996. – № 167. – P. 151 – 156.
101. Mahadevan S. Silver as dopant and as a constituent in As – Ag – Te glass: mean atomic volume and T_g / S. Mahadevan, A. Giridhar // J. Non – Crystall. Solids. – 1996. – № 197. – P. 219 – 227.
102. Norimitsu Yoshida. Photo- and electron- induced chemical modifications in Ag – As (Ge) – S (Se) glasses / Norimitsu Yoshida, Mikita Itoh, Keiji Tanara // J. Non – Crystall. Solids. – 1996. – № 198 – 200. – P. 749 – 752.
103. Salmon P. S. The coordination environment of Ag and Cu in ternary chalcogenide glasses // J. Non – Crystall. Solids. – 1996. – № 205 – 207. – P. 172 – 175.
104. Mikitaka Itoh. Electronic structures of Ag (Cu) – As – Se glasses / Itoh Mikitaka // J. Non – Crystall. Solids. – 1997. – № 210. – P. 178 – 186.
105. Kavaguchi T. Compositional dependence of the photoinduced surface deposition of metallic silver in Ag – As – S glasses / T. Kavaguchi, S. Maruno, S.R. Elliott // J. Non – Crystall. Solids. – 1997. – № 211. – P. 187 – 195.
106. Ohito M. Scanning – tunneling – microscope modifications of Cu (Ag) – chalcogenide glasses / M. Ohito, K. Tanaka // J. Non – Crystall. Solids. – 1998. – № 227 – 230. – P. 784 – 788.
107. Norimitsu Yoshida. Electronic and chemical Ag crystallization in Ag – As – S glasses / Yoshida Norimitsu, Tanara Keiji // J. Non – Crystall. Solids. – 1998. – № 227 – 230. – P. 779 – 783.
108. Mahadevan S. Mean atomic volume and T_g of Ag_x(As_{0,4}Se_{0,3}Te_{0,3})_{100-x} glasses / S. Mahadevan, A. Giridhar // J. Non – Crystall. Solids. – 1999. – № 258. – P. 207 – 213.
109. Hiroshi Iyetomi. Incipient phase separation in Ag/Ge/Se glasses: clustering of Ag atoms / Hiroshi Iyetomi, Priya Vashishta, Rajiv K.Kalia // J. Non – Crystall. Solids. – 2000. – № 262. – P. 135 – 142.
110. Piarristeguy A. X – ray analysis of GeSeAg glasses / A. Piarristeguy, M. Mirandou, M. Fontana, B. Arcondo // J. Non – Crystall. Solids. – 2000. – № 273. – P. 30 – 35.
111. Buger A. Preparation and thermophysical properties of AgGaTe₂ crystals / A. Burger, J.-O. Nday, Y Cui and other // J. Non – Crystall. Solids. – 2001. – № 225. – P. 505 – 511.
112. Takeshi Usuki. Structural and physical properties of Ag – As – Te glasses / Usuki Takeshi, Konno Shigemoto, Kameda Yasuo // J. Non – Crystall. Solids. – 2001. – № 293 – 295. – P. 799 – 805
113. Urena M.A. Crystallization processes of Ag – Ge – Se superionic glasses / M.A. Urena, M. Fontana, B. Arcondo, M.T. Clavaguera – Mora // J. Non – Crystall. Solids. – 2003. – № 320. – P. 151 – 167.
114. Kazuhiko Ogusu. Thermal analysis and Raman scattering study on crystallization and structure of Ag_x(As_{0,4}Se_{0,6})_{100-x} glasses / Ogusu Kazuhiko, Kumagai Toru, Fujimori Yuuki, Kitao Michihiko // J. Non – Crystall. Solids. – 2003. – № 324. – P. 118 – 126.
115. Zima V. Electrical conductivity of Ag_x(As₄₀Se₆₀)_{100-x} bulk glasses / V. Zima, T. Wágner, M. Vlček, L. Beneš and other // J. Non – Crystall. Solids. – 2003. – № 326. – P. 159 – 164.
116. Piarristeguy A. Structural considerations about the (Ge_{0,25}Se_{0,75})_{100-x}Ag_x glasses / A. Piarristeguy, M. Fontana, B. Arcondo // J. Non – Crystall. Solids. – 2003. – № 332. – P. 1 – 10.

117. Selvaraju V.C. Electrical switching and temperature dependence // *J. Non – Crystall. Solids.* – 2004. – № 333. – P. 16 – 21.
118. Давидюк Г.Е. Влияние легирования переходными и редкоземельными металлами на электрические и оптические свойства монокристаллов $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ / Г.Е. Давидюк, О.Н. Юрченко, О.В. Парасюк // *Неорг. материалы.* – 2008. – Т. 44. – № 4. – С. 425 – 430.
119. Chowdari B.V.R. Thermal, electrical and XPS studies of $\text{Ag}_2\text{O} \cdot \text{TeO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ / B.V.R. Chowdari, P.P. Kumari // *J. Non – Crystall. Solids.* – 1996. – № 197. – P. 31 – 40.
120. Takash Wakasugi. Solubility of A_2O in the $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$ system / Takash Wakasugi, Atsuhiko Ohrawa, Jiro Fukunaga // *J. Non – Crystall. Solids.* – 1999. – № 255. – P. 127 – 131.
121. Belharouak I. Silver particles in glasses of the $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{ZnO} - \text{P}_2\text{O}_5$ / I. Belharouak, F. Well, C. Parent // *J. Non – Crystall. Solids.* – 2001. – № 293 – 295. – P. 649 – 656.
122. Kartini E. Structural, thermal and electrical properties of $\text{AgI} - \text{Ag}_2\text{S} - \text{AgPO}_3$ superionic glasses / E. Kartini, S.J. Kenedy, T. Sakuma // *J. Non – Crystall. Solids.* – 2002. – № 312 – 314. – P. 628 – 632.
123. Kartini E. Neutron scattering and thermal measurements on the superionic – conducting $\text{Ag}_2\text{S} - \text{AgPO}_3$ glass system / E. Kartini, M.F. Collins, C.C. Lovekin J. // *Non – Crystall. Solids.* – 2001. – № 312 – 3145. – P. 633 – 636.
124. Matic A. Ionic motion of silver in super – ionic glasses / A. Matic, J. Swenson, S. Longeville // *Physica B.* – 1999. – № 266. – P. 69 – 74.
125. Kartini E. Nature of the precipitate in $(\text{AgI})_{0,7}(\text{AgPO}_3)_{0,3}$ glass / E. Kartini, M.F. Collins // *Physica B.* – 2000. – № 276 – 278. – P. 467 – 468.
126. Сергеев Г.Б. Нанохимия / Г.Б. Сергеев. – М.:КДУ, 2006. – 336 с.
127. Панарин Е.Ф. Исследование коллоидной дисперсии серебра, стабилизированной поливинилпирролидоном / Е.Ф. Панарин, Г.М. Павлов, Ю.Г. Сантурин // *Химико-фармакологический журнал.* – 1991. – № 3. – С. 68 – 70.
128. Jin R. Photoinduced conversion of silver nanospheres to nanoprisms / R. Jin, Y.W. Cao, C.A. Mirkin // *Science.* – 2001. – V. 294. – P. 1901 – 1903.
129. Taton T.A. Scametric DNA array detection with nanoparticle probes / T.A. Taton, C.A. Mirkin, B.L. Letsinger // *Science.* – 2000. – V. 289. – P.1757-1760.
130. Rodrigues-Sanchez I. Electrochemical synthesis of silver nanoparticles / I. Rodrigues-Sanchez, M.L. Blanco, M.A. Lopez-Quintela // *J. Phys. Chem. B.* – 2000. – V. 104. – P. 9683-9688.
131. S. He. Investigation of passivated silver nanoparticles / S. He, J. Yao, S. Xie et al // *Chem. Phys. Lett.* – 2001. – V. 343. – № 1-2. – P. 28-32.
132. Sun Y. Shape-controlled synthesis of gold and silver nanoparticles / Y. Sun, Y. Xia // *Science.* – 2002. – V. 298. – P. 2176-2179.
133. Помогайло А.Д. Наночастицы металлов в полимерах / А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, И.Е. Уфлянд.- М.: Химия., 2000. – 672 с.
134. Tsuji T. Preparation of nano-size particles of silver with femtosecond laser ablation in water / T. Tsuji, T. Kakita, M. Tsuji // *Appl. Surface Science.* – 2003. – V. 206, № 1-4. – P. 314-320.
135. Nichjls W.T. Gas and pressure dependence for the mean size of nanoparticles produced by laser ablation of flowing aerosols / W.T. Nichols, G. Malyavanatham, D.E. Henneke et al // *J. Nanoparticle Research.* – 2000. – V. 2, № 2. – P. 141-145.

136. Дементьева О.В. Сравнительное исследование свойств гидрозолей серебра, полученных цитратными и цитрат-сульфатными методами / О.В. Дементьева, А.В. Мальковский, М.А. Филипенко и др. // Коллоидный журнал. – 2008. – Т. 70. – № 5. – С. 607-619.
137. Zhu Y. γ -Radiation synthesis and characterization of polyacrylamide – silver nanocomposites / Y. Zhu, Y. Qian // Chem. Communications. – 1997. – № 12. – P. 1081-1082.
138. Коновалова Е.А. Изменение состояния частиц серебряного золя после низкотемпературных обработок / Е.А. Коновалова, И.И. Михаленко, В.Д. Ягодковский // ЖФХ. – 2008. – Т. 82. – № 4. – С. 774-779.
139. Choi S.-H. Interaction between the surface of silver nanoparticles prepared by γ -irradiation and organic molecules containing thiol group / S.-H. Choi, S.-H. Lee, Y.-M. Hwang et al // Radiat. Phys. Chem. – 2003. – V. 67. – № 3-4. – P. 517-521.
140. Крутяков Ю.А. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы / Ю.А. Крутяков, А.А. Кудринский, А.Ю. Оленин и др. // Успехи химии. – 2008. – Т. 77. – № 3. – С. 242-269.
141. Klaus-Joerger T. Bacteria as workers in living factory: metal-accumulating bacteria and their potential for materials science / T. Klaus-Joerger, R. Joerger, E. Olsson et al // Trends. Biotechnol. – 2001. – V. 19. – № 1. – P.15-20.
142. Kowshik M. Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver-tolerant yeast strain MKY3 // Nanotechnology. – 2003. – V. 14. – № 1. – P. 95-100.
143. Jana N.R. Wet chemical synthesis of silver nanorods and nanowires of controllable aspect ratio / N.R. Jana, L. Gearheart, C.J. Murphy // Chem. Communications. – 2001. – № 7. – P. 617-618.
144. Compion A. Surface-enhanced Raman scattering / A. Compion, P. Kambhampati // Chem. Soc. Rev. – 1998. – V. 27. – № 4. – P. 241-250.
145. Nogueira H.I.S. Adsorption of 2,2'-dithiopyridine as a tool for the assembly of silver nanoparticles / H.I.S. Nogueira, P.C.R. Soares-Santos, S.M.G. Cruz et al // J. Mater. Chem. – 2002. – V. 12. – № 8. – P. 2339-2342.
146. Серебрякова Н.В. Формирование бимодального ансамбля наночастиц серебра в растворах полимеров / Н.В. Серебрякова, О.Я. Урюпина, В.И. Роддугин // Коллоидный журнал. – 2005. – Т. 67. – № 1. – С. 87-93.
147. Вечера А.В. Синтези физико-химические свойства наночастиц серебра, стабилизированных желатином / А.В. Вечера, А.Д. Зимон // ЖПХ. – 2006. – Т. 79. – № 9. – С. 1419-1422.
148. Пешков С.В. Стабилизация нанодисперсного серебра в сульфокатионообменнике / С.В. Пешков, Е.В. Золотухина, М.Ю. Чайка и др. // ЖФХ. – 2008. – Т. 82, № 8. – С. 1493-1500.
149. Lakowicz J.R. Effects of silver island films on the luminescent intensity and decay times of lanthanide chelates / J.R. Lakowicz, B.P. Maliwal, J. Malicka et al // J. Fluorescence. – 2002. – V. 12. – № 3-4. – P. 431-437.
150. Lakowicz J.R. Enhanced and localized multiphoton excited fluorescence near metallic silver islands: metallic islands can increase probe photostability / J.R. Lakowicz, I. Gryczynski, J. Malicka et al // J. Fluorescence. – 2002. – V. 12. – № 3-4. – P. 299-302.
151. Сайфуллина И.Р. Получение композитных пленок с наночастицами серебра и их фрактальными агрегатами в полимерной матрице // И.Р. Сайфуллина, Г.А. Чиганова, С.В. Карпов и др. // ЖПХ. – 2006. – Т. 79. – № 10. – С. 1660-1663.

152. Чиганова Г.А. Получение дисперсных систем с фрактальными агрегатами наночастиц серебра / Г.А. Чиганова // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Техника и технологии. – 2008. – Т. 1. – № 2. – С. 155-161.
153. Лесных Н.Н. Влияние сульфат- и нитрат – ионов на пассивацию и активацию серебра в щелочном растворе / Н.Н. Лесных, Н.М. Тутукина, И.К. Маршаков // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 472-477.
154. Сергеев Б.М. Образование кластеров серебра при борогидридном восстановлении AgNO_3 в водных растворах полиакрилата / Б.М. Сергеев, Л.И. Лопатина, А.Н. Прусов и др. // Коллоидный журнал – 2005. – Т. 67. – № 1. – С. 79-86.
155. Сергеев Б.М. Борогидридное восстановление AgNO_3 в водных растворах полиакрилата. Двухстадийный синтез «синего серебра» // Коллоидный журнал. – 2005. – Т. 67. – № 2. – С. 243-247.
156. Сергеев Б.М. Влияние ионов Ag^+ на превращения кластеров серебра в водных растворах полиакрилата / Б.М. Сергеев, Л.И. Лопатина, Г.Б. Сергеев // Коллоидный журнал. – 2006. – Т. 68. – № 6. – С. 833-838.
157. Михайлов О.В. О новой фазе элементарного серебра, возникающей в результате его «переосаждения» в Ag -желатин-иммобилизованных матричных системах / О.В. Михайлов, Н.И. Наумкина, А.В. Кондаков А.В. и др. // ЖОХ. – 2008. – Т. 78. – № 9. – С. 1417-1422.
158. Yin Y. Synthesis and characterization of stable aqueous dispersions of silver nanoparticles through the Tollens process / Y. Yin, Z.-Y. Li, Z. Zhong et al // J. Mater. Chem. – 2002. – № 12. – P. 522-527.
159. Татарчук В.В. Кинетика растворения наночастиц металлического серебра при взаимодействии с азотной кислотой в обратномилллярном растворе аэрозоля / В.В. Татарчук, А.И. Булавченко, И.А. Дружинина // ЖНХ. – 2007. – Т. 52. – № 8. – С. 1369-1374.
160. Оленин А.Ю. Формирование поверхностного слоя наночастиц серебра в водных и водно-органических средах / А.Ю. Оленин, Ю.А. Кутяков, А.А. Кудринский и др. // Коллоидный журнал. – 2008. – Т. 70. – № 1. – С. 78-84.
161. Бекасова О.Д. Получение и оптические свойства наночастиц серебра в белковой матрице – R-фикоэритрине / О.Д. Бекасова, А.А. Бреховских, А.А. Ревина и др. // Неорганические материалы. – 2008. – Т. 44. – № 8. – С. 947-953.
162. Дорофеева Н.В. Особенности десорбции кислорода с поверхности серебра, промотированного фосфатами / Н.В. Дорофеева, А.С. Князев, Н.И. Радишевская и др. // ЖФХ. – 2007. – Т. 81. – № 5. – С. 909-914.
163. Kakihara Yasuo. Water dispersed liquid and its production method of silver nano-particle / Yasuo Kakihara // JP patent 2009019236 – 2009.
164. Яценко С.П. Композиционные припои на основе легкоплавких сплавов / С.П. Яценко, В.Г. Хаяк // Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 186 с.
165. Silver S. Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds / S. Silver // FEMS Microbiology Rev. – 2003. – V. 27. – № 2-3. – P. 341-353.
166. Голубович В.Н. Кинетика подавления роста *Candida udlus* ионами серебра / В.Н. Голубович, И.Л. Работнова // Микробиология. – 1974. – Т. 43. – № 6. – С. 1115-1117.
167. Bragg P.-D. The effect of silver ions on the respiratory chain of *Escherichia coli* / P.-D. Bragg, D.J. Rainnie // Can. J. Microbiolog. – 1974. – V. 20. – P. 881-889.

168. Lee H.J. Antibacterial effect of nanosized-silver colloidal solution on textile fabrics / H.J. Lee, S.Y. Yeo, S.H. Jeong // *J. Mater. Sci.* – 2003. – V. 38. – № 10. – P. 2199-2204.
169. Баллюзек Ф.В. Лечебное серебро и медицинские нанотехнологии / Ф.В. Баллюзек, А.С. Куркаев, В.Я. Сквирский. – М.-СПб.: ДИЛЯ, 2008. – 112 с.
170. Benavides M.A. Sistema para la produccion biologica de nanocristales de plata y otros metales pesados en invernadero, tunel, microtunel o casa sombra, utilizando monocotiledoneas en un sistema hidropoico / M.A. Benavides, R.H. Ramirez, L.L.O. Fuentes et al // *MXNL patent 05000082* – 2007.
171. Дубровская С.В. Золото и серебро от всех болезней / С.В. Дубровская. – М.: Мир книги, 2007. – 256 с.
172. Реутова Н.В. Серебро как возможный мутаген / Н.В. Реутова, В.А. Шевченко // *Генетика.* – 1991. – Т. 27. – № 7. – С. 1280-1284.
173. Ульберг З.Р. Исследование влияния металлов (Ag, Cu, Au) на электроповерхностные свойства клеток эритроцитов методом электровращения / З.Р. Ульберг, Л.Г. Марочко, А.Г. Савкин и др. // *Коллоидный журнал.* – 2005. – Т. 67. – № 2. – С. 113-123.
174. Вертелов Г.К. Применение наночастиц в электрохимическом анализе биологических объектов / Г.К. Вертелов, А.Ю. Оленин, Г.В. Лисичкин // *ЖАХ.* – 2007. – Т. 62. – № 9. – С. 903-915.
175. Warm S. One kind of silver health care chops-ticks / S. Warm // *CN patent 201192244* – 2009.
176. Kang Yhpu. The highly effective examination biological macromolecule and the microorganism nanometer silver membrane / Yhpu Kang, Ming Liu // *CN patent 101344484*-2009.
177. Kin-Keung S. One kind of nanometer silver disinfection / S. Kin-Keung // *Patent CN 101341883*-2009.
178. Texter John. Bactericidal silver surfactant delivery into coating and polymer compositions / John Texter // *US patent 2009018188* – 2009.
179. Chang Enlightened. The tetroxide four silver disinfectants, the preparation method and applied / Enlightened Chang, Shun-South Hu // *CN patent 101336640* – 2009.
180. Tsai Cheng Chou. One king deodorizes and the sterilization formula including silver ions / Cheng Chou Tsai // *CN patent 101337083* – 2009.
181. Lin Yi-Tzeng. The manufacturing processes of nano-silver particle containing non-polluted composition having the properties of anti-bacteria, deodorization and anti-mould / Yi-Tzeng Lin, Shian-Tzung Lin, Shuai-Min Jau // *TW patent 200827300* – 2008.
182. Holladay R.J. Composition colloidale antivirale en argent / R.J. Holladay, W.D. Moeller // *WO panent 200814427* – 2008.
183. Anqi Ye. High molecular absorbent member and health aids carried with nano-silver with antibiotic / Ye Anqi, Hong Dengnan, Liang Jiafeng et al // *CN patent 201154101* – 2008.
184. Thomas Wunder. Synergistic, silver-containing biocide composition / Wunder Thomas, Grabble Roman, Baum Rudiger // *CN patent 101252841* – 2008.
185. Feng Zhang. Nanometer silver antibiotic textile finishing method / Zhang Feng, Chen Yuyue, Wu Xiaolan // *CN patent 101307563* – 2008.
186. Lisong Yin. Preparation method of nano-silver sterilization gel / Yin Lisong, Liu Baisheng // *CN patent 101305737* – 2008.

187. Lisong Yin. Preparation method of nano-silver sterilization liquid / Yin Lisong, Liu Baisheng // CN patent 101305736 – 2008.
188. Chang Jiang. Production method and apparatus of antibiotic superfine fiber nonwoven cloth with nano-silver being embedded / Jiang Wang, Li Zhisheng, Xue Weigang // CN patent 101302682 – 2008.
189. Савадян Э.Ш. Использование препаратов серебра в хирургии и травматологии (Обзор зарубежной литературы) / Э.Ш. Савадян // Хирургия. – 1989. – № 8. – С. 135-139.
190. Савадян Э.Ш. Современные тенденции использования серебросодержащих антисептиков / Э.Ш. Савадян, В.М. Мельникова, Г.П. Беликов // Антибиотики и химиотерапия. – 1989. – Т. 34. – № 11. – С. 874-878.
191. Большая медицинская энциклопедия / под ред. Б.В. Петраковского. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – Т. 2. – С. 142-143.
192. Милнс А. Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник / А. Милнс, Д. Фойхт. – М.: Мир, 1975. – 432 с.
193. German R.M. The color of gold-silver-copper alloys / R.M. German, M.M. Guzowski, D.C. Wright // Gold. Bulletin. 1980. V. 13. Bulletin. – 1980. – V. 13, № 3. – P. 113-116.
194. MacCormack I.B. New white gold alloys / I.B. MacCormack, J.E. Bowers // Gold. Bulletin. – 1981. – V. 14. – № 1. – P. 19-25.
195. Моисеев С.С. Сплав белого цвета на основе золота / С.С. Моисеев, В.А. Калганов, И.Г. Ерусалимчик // RU патент 2115755 – 1997.
196. Bernhard M. White gold alloy compositions / M. Bernhard, A.V. Menon // US patent 6951588 – 2005.
197. Довженко Н.Н. Припой на основе серебра / Н.Н. Довженко, Б.П. Ходюков, С.Б. Сидельников и др. // RU патент 2335385 – 2006.
198. Hiroshi Takashi. Gold and silver thread / Takashi Hiroshi // JP patent 2009030219 – 2009.
199. Yu Tao. Method for preparing silver nano-wire in large batch / Tao Yu, Tao Guoliang, Wu Haping // CN patent 101310899 – 2008.
200. Пятницкий И.В. Аналитическая химия серебра / И.В. Пятницкий, В.В. Сухан. М.: Наука, 1975. – 263 с.
201. Аналитическая химия металлов платиновой группы / сост. и ред. Ю.А. Золотов, Г.М. Варшал, В.М. Иванов. – М.: КомКнига, 2005. – 592 с.
202. Губин С.П. Координационная химия наночастиц / С.П. Губин, Н.А. Катаева // Координационная химия. – 2006. – Т. 32. – № 12. – С. 883-893.
203. Вольхин В.В. Общая химия. Избранные главы / В.В. Вольхин. – СПб.: Лань, 2008. – 384 с.

Application of Silver (Review)

**Lubov T. Denisova, Natalia V. Belousova,
Viktor M. Denisov and Viktor V. Ivanov,**
*Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

Published works on the application of silver from the antiquity and until recent times were reviewed. The analysis of the use of silver in different fields of techniques, biology and medicine and in the production of jewelry was carried out. Features of properties and the utilization of nano-silver were marked.

Keywords: silver, electrocontacts, solder, semiconductors, nano-silver, glasses, medicine, biology, jeweller business.
