

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041343**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.10.12

(21) Номер заявки
202091076

(22) Дата подачи заявки
2018.11.01

(51) Int. Cl. **C22B 11/02** (2006.01)
C22B 11/06 (2006.01)
C22B 1/00 (2006.01)
C22B 1/02 (2006.01)

(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА

(31) **62/579,895**

(32) **2017.11.01**

(33) **US**

(43) **2020.07.23**

(86) **PCT/IL2018/051167**

(87) **WO 2019/087193 2019.05.09**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ЙЕДА РИСЕРЧ ЭНД
ДИВЕЛОПМЕНТ КО. ЛТД. (IL)**

(72) Изобретатель:
**Любомирский Игорь, Каплан
Валерий, Досмухамедов Нурлан,
Жолдасбай Эржан (IL)**

(74) Представитель:
Фелицына С.Б. (RU)

(56) **US-A-4353740
WO-A1-2015193901**

(57) Описан способ извлечения золота из золотосодержащих материалов, таких как материал электронных отходов, минералы и пески. Способ включает дробление золотосодержащего материала с получением дисперсного материала. Дисперсный материал затем предварительно нагревают в кислородсодержащей газовой среде в зоне предварительного нагрева. Способ также включает смешивание окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом и обработку смеси в зоне реакции. Обработку проводят путем нагревания смеси для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала и получения хлорсодержащей газовой смеси и путем приложения электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси для обеспечения ионизации хлора. Летучий золотосодержащий хлоридный продукт, образующийся в зоне реакции в результате химической реакции между золотом и ионами хлора, затем охлаждают для превращения летучего золотосодержащего хлоридного продукта в твердофазные золотосодержащие материалы.

B1**041343****041343****B1**

Область техники

Изобретение относится в целом к металлургическим методам, используемым для отделения и извлечения драгоценных и редких металлов, и, в частности, к способу извлечения золота из золотосодержащих материалов, таких как промышленные отходы, минералы, руды и пески.

Уровень техники

Спрос на электрическое и электронное оборудование резко возрос с развитием технологии. Основные инновации в области электрических и электронных технологий сократили срок эксплуатации электрического и электронного оборудования и, таким образом, увеличили образование электронных отходов. Глобальное производство электронных отходов быстро растет и, как ожидается, в ближайшем будущем ускорится еще больше. Это привело к образованию больших количеств электронных отходов, которые требуют соответствующего обращения [A. Khaliq, M.A. Rhamdhani, G. Brooks, S. Masood; Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective; Resources, 2014, V. 3, P. 152-179].

Обращение с электронными отходами, включая сжигание в мусоросжигательных установках, утилизацию на свалках или вывоз за границу, более не разрешено из-за загрязнения окружающей среды и международного законодательства. Кроме того, присутствие драгоценных металлов (РМ) делает переработку электронных отходов привлекательной с экономической точки зрения. Например, золото (Au) используется в электронике из-за его превосходной устойчивости к коррозии и высокой электропроводности. Известно, что производство мобильных телефонов и персональных компьютеров потребляет 3% добываемого во всем мире золота каждый год. Фактически, по сравнению с природными рудами, содержащими Au (руды Au), содержание Au в электронном ломе и отходах значительно выше (от 10 г до 1 кг Au на тонну электронного лома по сравнению с 0,5-13,5 г Au на тонну природной руды Au), создавая экономическую движущую силу для переработки электронных отходов.

Существующие пирометаллургические процессы для извлечения Au из электронных отходов являются энергоемкими, тогда как гидрометаллургические процессы, в которых используются химические выщелачиватели, такие как царская водка (т.е. смесь концентрированных азотной и соляной кислот), связаны с загрязнением и, таким образом, не являются экологически рациональными. Кроме того, в определенных сценариях извлечение первичного Au из минералов, руд и песков может быть трудным, экологически неблагоприятным или иным образом экономически не привлекательным с использованием существующих пирометаллургических и гидрометаллургических процессов.

Например, в патенте США № 4353740 описан способ обработки измельченной золотосодержащей руды с целью извлечения золота из нее. Способ включает обжиг руды для удаления сульфидов, таких как диоксид серы, с последующим хлорированием руды при температуре около 350°C в присутствии железа с образованием смеси летучих хлоридов золота и летучих хлоридов золота-железа в отходящих хлорных газах с последующей конденсацией соединений золота путем пропускания смеси через соль, такую как хлорид натрия, с образованием расплава соли и выделением золота из расплава.

В патенте США № 5074910 описан способ извлечения благородных металлов из сульфидных руд. Он включает хлорирование смеси рудного концентрата и соли с образованием жидкого расплава. Соль предпочтительно содержит хлорид калия. Это хлорирование проводят при температуре от 300 до 600°C при перемешивании. Способ преобразует драгоценные металлы в элементарной и сульфидной формах в хлориды драгоценных металлов, которые извлекаются на последующих этапах обработки.

В патенте США № 5169503 описан способ извлечения ценных металлов из руд. Способ включает: (а) растворение ценных металлов из руды путем обработки руды выщелачивателем, содержащим водный раствор хлоридной соли, гипохлоритной соли и циануровой кислоты; и (б) извлечение ценных металлов из выщелачивателя.

В патенте США № 5484470 описан способ растворения металлического золота в системах выщелачивания на основе лиганда и окислителя, в которых растворимость золота повышают путем добавления гетероциклических ароматических соединений, содержащих азот или серу в кольце.

В патенте США № 7645320 описан способ извлечения драгоценного металла из источника, содержащего драгоценный металл, включающий стадии: (i) контактирования источника, содержащего драгоценный металл, с хлоридной солью в паровой фазе; (ii) конденсацию летучего продукта из стадии (i), содержащего драгоценный металл; и (iii) извлечение драгоценного металла из конденсированного продукта стадии (ii).

Краткое описание сущности изобретения

Несмотря на предшествующий уровень техники в области извлечения и экстракции золота, в данной области все еще существует потребность в дальнейшем совершенствовании технологии переработки электронных отходов для извлечения золота, а также в дальнейшем совершенствовании способов извлечения первичного золота из золотосодержащих материалов, таких как минералы, руды и пески.

Также было бы выгодно иметь способ извлечения и экстракции золота с помощью агентов с низким воздействием на окружающую среду, способных селективно и эффективно извлекать золото в мягких условиях.

Кроме того, было бы выгодно иметь способ извлечения золота из электронных отходов, который

можно легко поставить на поток и который имеет значительный выход извлеченного металла. Кроме того, во многих сценариях извлечения первичного Au существует необходимость в извлечении золота из минералов, руд и песков, которое можно легко поставить на поток и которое имеет значительный выход извлеченного металла.

Настоящее раскрытие удовлетворяет вышеупомянутую потребность, предоставляя способ извлечения золота из электронных отходов и экстракции Au из минералов, руд и песков. Способ включает дробление золотосодержащего материала, такого как электронные отходы или золотосодержащие минералы, руды и пески, с получением дисперсного материала. Дисперсный материал включает частицы, имеющие заданный размер зерна. Например, заданный размер зерна дисперсного материала может находиться в диапазоне от 0,07 до 40 мм.

В одном варианте реализации настоящее изобретение обеспечивает способ извлечения золота из золотосодержащего материала, включающий

измельчение указанного золотосодержащего материала с получением золотосодержащего дисперсного материала, содержащего частицы, имеющие заданный размер зерна;

необязательно сублимацию других металлов из указанного материала;

предварительный нагрев указанного золотосодержащего дисперсного материала в кислородсодержащей газовой среде в зоне предварительного нагрева для окисления золотосодержащего дисперсного материала;

смешивание окисленного золотосодержащего дисперсного материала с хлорсодержащим материалом;

обработку смеси окисленного золотосодержащего дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в реакционной зоне путем (i) нагревания смеси для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала и получения хлорсодержащей газовой смеси, (ii) приложение электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси для обеспечения ионизации хлора; тем самым вызывая химическую реакцию между золотом и ионами хлора и обеспечивая летучий золотосодержащий хлоридный продукт в зоне реакции; и

охлаждение указанного летучего золотосодержащего хлоридного продукта для превращения указанного летучего золотосодержащего хлоридного продукта в твердофазные золотосодержащие материалы.

Способ дополнительно включает предварительный нагрев указанного дисперсного материала. Предварительный нагрев проводят в кислородсодержащей газовой среде в зоне предварительного нагрева с целью окисления дисперсного материала. Предварительный нагрев дисперсного материала можно, например, проводить при температуре в диапазоне от 150 до 750°C в течение периода времени от 5 до 60 мин. Содержание кислорода в кислородсодержащей газовой среде в зоне предварительного нагрева находится в диапазоне от 20 до 98 об. %.

Затем окисленный дисперсный материал смешивают с хлорсодержащим материалом. Количество хлорсодержащего материала в смеси может, например, находиться в диапазоне от 1 г до 1 кг на 1 кг золотосодержащего материала, такого как материал электронных отходов или золотосодержащие минералы, руды и пески. Примеры материалов, подходящих для настоящего изобретения, включают, но не ограничиваются ими, гипохлорит калия, гипохлорит натрия, гипохлорит кальция, гипохлорит магния, гипохлорит бария, хлорид-гипохлорит калия, хлорид-гипохлорит натрия, хлорид-гипохлорит кальция, хлорид-гипохлорит магния, хлорид-гипохлорит бария, хлорид калия, хлорид натрия, хлорид аммония, хлорид кальция, хлорид магния, хлорид бария, хлорид алюминия, наноразмерный диоксид кремния и любые их комбинации. Способ дополнительно включает обработку смеси окисленного дисперсного материала хлорсодержащим материалом в зоне реакции. Обработку проводят путем нагревания смеси и приложения электромагнитного поля.

Нагревание смеси окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом осуществляют для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала и получения хлорсодержащей газовой смеси. Нагревание смеси для получения хлорсодержащей газовой смеси можно, например, проводить при температуре в диапазоне от 150 до 400°C в течение периода времени в диапазоне от 5 до 120 мин.

Электромагнитным излучением воздействуют на хлорсодержащую газовую смесь для обеспечения ионизации хлора; тем самым вызывая химическую реакцию между золотом и ионами хлора и обеспечивая летучий золотосодержащий хлоридный продукт в зоне реакции. Ионизация газообразного хлора может быть достигнута, например, путем приложения переменного электромагнитного поля к зоне реакции на частоте в диапазоне 50 кГц-12 ГГц. Интенсивность электромагнитного поля в зоне реакции может, например, находиться в диапазоне от 0,1 до 10 кВт/см². Электромагнитное поле может, например, быть приложено к хлорсодержащей газовой смеси, чтобы обеспечить ионизацию хлора в течение периода времени в диапазоне от 5 до 180 мин.

Согласно варианту реализации настоящего изобретения нагрев смеси окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в зоне реакции осуществляется одновременно с приложением электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси.

В соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения способ дополнительно включает пропускание хлорсодержащего газа из внешнего источника через зону реакции во время приложения электромагнитного поля. Количество хлорсодержащего газа, который пропускается из внешнего источника через зону реакции, может составлять, например, от 5 до 400 л хлора на тонну указанного золотосодержащего материала, такого как материал электронных отходов, минералы, руды и пески.

Затем способ включает охлаждение летучего золотосодержащего хлоридного продукта для превращения летучего золотосодержащего хлоридного продукта в твердофазные золотосодержащие материалы.

Таким образом, в общих чертах были изложены наиболее важные признаки изобретения, так, чтобы следующее ниже подробное описание могло быть лучше понято, и представленный вклад в уровень техники мог быть лучше оценен. Дополнительные подробности и преимущества изобретения будут изложены в подробном описании.

Краткое описание фигур

Для лучшего понимания объекта, который раскрыт в настоящем документе, и для иллюстрации того, как он может быть осуществлен на практике, теперь будут описаны варианты реализации, только в качестве неограничивающего примера, со ссылкой на прилагаемые рисунки, на которых

фиг. 1 - представляет собой схематическое представление способа извлечения золота из золотосодержащего материала, такого как материал электронных отходов, минералы, руды и пески, согласно варианту реализации настоящего изобретения;

фиг. 2 - иллюстрирует схематическое фрагментарное продольное сечение устройства для обработки смеси окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Подробное описание вариантов реализации

Принципы и работу устройства для извлечения золота из золотосодержащего материала, такого как материал электронных отходов, и/или экстракции золота из минералов, руд и песков в соответствии с настоящим изобретением можно лучше понять со ссылкой на фигуры и прилагаемое описание. Следует понимать, что эти фигуры приведены только в иллюстративных целях и не предназначены для ограничения.

В одном варианте реализации настоящее изобретение обеспечивает способ извлечения золота из золотосодержащего материала, включающий:

измельчение указанного золотосодержащего материала с получением золотосодержащего дисперсного материала, содержащего частицы, имеющие заданный размер зерна;

необязательно сублимацию других металлов из указанного материала;

предварительный нагрев указанного золотосодержащего дисперсного материала в кислородсодержащей газовой среде в зоне предварительного нагрева для окисления золотосодержащего дисперсного материала;

смешивание окисленного золотосодержащего дисперсного материала с хлорсодержащим материалом;

обработку смеси окисленного золотосодержащего дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в реакционной зоне путем (i) нагревания смеси для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала и получения хлорсодержащей газовой смеси, (ii) приложение электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси для обеспечения ионизации хлора; тем самым вызывая химическую реакцию между золотом и ионами хлора и обеспечивая летучий золотосодержащий хлоридный продукт в зоне реакции; и

охлаждение указанного летучего золотосодержащего хлоридного продукта для превращения указанного летучего золотосодержащего хлоридного продукта в твердофазные золотосодержащие материалы.

В одном варианте реализации настоящее изобретение направлено на способ извлечения золота из золотосодержащего материала, в котором золотосодержащий материал содержит золото, мышьяк, сурьму или их комбинацию, при этом способ включает:

измельчение указанного золотосодержащего материала с получением золотосодержащего дисперсного материала, содержащего частицы, имеющие заданный размер зерна;

смешивание указанного золотосодержащего дисперсного материала с углем;

нагревание и восстановление указанной смеси золотосодержащего дисперсного материала и угля при температуре 500-900°C для сублимации мышьяка и сурьмы из указанного восстановленного золотосодержащего материала;

предварительный нагрев указанного восстановленного золотосодержащего дисперсного материала в кислородсодержащей газовой среде в зоне предварительного нагрева для окисления золотосодержащего дисперсного материала;

смешивание окисленного золотосодержащего дисперсного материала с хлорсодержащим материалом;

обработку смеси окисленного золотосодержащего дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в реакционной зоне путем (i) нагревания смеси для обеспечения термического разложения хлор-

содержащего материала и получения хлорсодержащей газовой смеси, (ii) приложение электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси для обеспечения ионизации хлора; тем самым вызывая химическую реакцию между золотом и ионами хлора и обеспечивая летучий золотосодержащий хлоридный продукт в зоне реакции; и

охлаждение указанного летучего золотосодержащего хлоридного продукта для превращения указанного летучего золотосодержащего хлоридного продукта в твердофазные золотосодержащие материалы.

В другом варианте реализации золотосодержащий материал выбран из использованных золотосодержащих печатных плат, золотосодержащих деталей электронных устройств, отработанных золотосодержащих электрических разъемов и золотосодержащих минералов, руд и песков.

В другом варианте реализации заданный размер зерна указанного золотосодержащего дисперсного материала находится в диапазоне от 0,07 до 40 мм.

В другом варианте реализации, если золотосодержащий материал содержит мышьяк, сурьму или их комбинацию в концентрации выше 0,1 мас.%, для удаления этих металлов требуется стадия сублимации. В другом варианте реализации изобретения стадия сублимации проходит при температуре от 500 до 900°C. В другом варианте реализации стадия сублимации проходит при температуре от 500 до 700°C; от 650 до 750°C; от 600 до 800°C или от 700 до 900°C. В другом варианте реализации золотосодержащий материал, содержащий золото, мышьяк, сурьму или их комбинацию, смешивают с углем и нагревают до температуры от 500 до 900°C, в другом варианте реализации нагревают до температуры от 500 до 700°C; от 650 до 750°C; от 600 до 800°C или от 700 до 900°C.

В другом варианте реализации расход угля составляет 130-170% от стехиометрического количества угля, необходимого для реакции полного восстановления оксидов мышьяка и сурьмы углеродом.

В настоящем описании и формуле изобретения выражение "золотосодержащий материал" или "золотосодержащие материалы" широко используется, отдельно или в комбинации, для любого материала, содержащего золото, такого как минералы, руды и пески и материал электрических отходов.

В настоящем описании и формуле изобретения выражение "материал электронных отходов" широко используется, отдельно или в комбинации, для электрического или электронного оборудования, включая золотосодержащие компоненты, узлы и расходные материалы, которые были выброшены их пользователями. Примеры материала электронных отходов включают, но не ограничиваются ими, золотосодержащие печатные платы, золотосодержащие детали электронных устройств и золотосодержащие электрические разъемы и т.д.

Понятно, что электронные отходы могут состоять из большого количества компонентов различных размеров, форм и химических веществ. Например, печатные платы, которые можно найти в электрических и электронных приборах, состоят из 40% металлов, 30% полимеров и 30% керамики. Однако способ по настоящему изобретению нечувствителен к присутствию других металлов, кроме золота, и к присутствию других материалов.

Со ссылкой на фиг. 1 представлен способ извлечения золота из золотосодержащего материала, такого как материал электронных отходов, минералы, руды и пески, согласно варианту реализации настоящего изобретения. Реализуют начальную стадию, дробление золотосодержащего материала. Во время такого дробления золотосодержащий материал преобразуется в частицы, средний размер частиц которых может находиться в диапазоне, например, от 0,07 до 40 мм. Эта стадия позволяет получать продукт, который, с одной стороны, является более однородным, а, с другой стороны, более пригодным для обработки на последующих стадиях способа в соответствии с настоящим изобретением.

Электронные отходы или минералы, руды и пески могут содержать материалы, такие как полимеры, смолы, волокна, целлюлозную бумагу, серу и другие горючие материалы, которые могут воспламеняться и разлагаться во время последующих стадий обработки и, таким образом, обеспечить примеси в конечном продукте. Поэтому способ включает предварительный нагрев дисперсного материала в кислородсодержащей газовой среде для окисления дисперсного материала. Предварительный нагрев дисперсного материала осуществляют в печи, которая обеспечивает зону предварительного нагрева, имеющую достаточно высокую температуру, и требуемую при необходимости для окисления дисперсного материала. Например, температура может находиться в диапазоне от 150 до 750°C. Предварительный нагрев дисперсного материала можно, например, проводить в течение периода времени в диапазоне от 5 мин до 60 мин. Содержание кислорода в зоне предварительного нагрева может находиться в диапазоне, например, от 20 до 98 об.%.

Способ далее включает смешивание окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом. Хлорсодержащий материал может, например, быть в форме частиц. Количество хлорсодержащего материала в смеси зависит от количества материала электронных отходов или минералов, руд и песков, и/или от размера реактора. Например, количество хлорсодержащего материала в смеси может находиться в диапазоне от 1 г до 1 кг на 1 кг материала электронных отходов или минералов, руд и песков. В другом варианте реализации хлорсодержащий материал в смеси находится в диапазоне от 1 г до 0,5 кг на 1 кг золотосодержащего материала. В другом варианте реализации хлорсодержащий материал в смеси находится в диапазоне от 200 г до 700 г на 1 кг золотосодержащего материала.

Примеры хлорсодержащих материалов, подходящих для настоящего изобретения, включают, но не ограничиваются ими, гипохлорит калия, гипохлорит натрия, гипохлорит кальция, гипохлорит магния, гипохлорит бария, хлорид-гипохлорит калия, хлорид-гипохлорит натрия, хлорид-гипохлорит кальция, хлорид-гипохлорит магния, хлорид-гипохлорит бария, хлорид калия, хлорид натрия, хлорид аммония, хлорид кальция, хлорид магния, хлорид бария, хлорид алюминия, наноразмерный диоксид кремния и любые их комбинации.

Если используется комбинация двух или более различных хлорсодержащих материалов, концентрация компонентов в композиции может варьироваться в широких пределах. Например, если хлорсодержащий материал представляет собой композицию гипохлорита кальция и хлорида кальция, где количество гипохлорита кальция в указанной композиции гипохлорита кальция и хлорида кальция может находиться в диапазоне от 5 до 99 мас.%. В другом варианте реализации количество гипохлорита кальция в указанной композиции составляет от 10 до 20 мас.%, от 20 до 50 мас.%, от 30 до 60 мас.% или от 50 до 100 мас.%.

Другой пример хлорсодержащего материала может иметь состав из гипохлорита кальция, хлорида кальция и наноразмерного диоксида кремния. Еще один пример хлорсодержащего материала может иметь состав из гипохлорита кальция и наноразмерного диоксида кремния, при этом указанный гипохлорит кальция смешан с наноразмерным диоксидом кремния в твердом или жидком виде для лучшего разложения указанного гипохлорита кальция с получением хлорсодержащей газовой смеси, при этом указанный наноразмерный диоксид кремния имеет размер частиц между 10 и 1000 нм. В других вариантах реализации наноразмерный диоксид кремния имеет размер частиц менее 200 нм.

Способ дополнительно включает обработку смеси окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в зоне реакции путем нагревания смеси для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала и, таким образом, для получения хлорсодержащей газовой смеси, а также путем приложения электромагнитного поля к полученной хлорсодержащей газовой смеси с образованием плазмы хлора.

Фиг. 2 иллюстрирует схематическое фрагментарное продольное сечение устройства для обработки смеси окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом путем нагревания смеси и приложения электромагнитного поля в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения. Следует отметить, что этот рисунок в целях наглядности приведен не в масштабе и не пропорционален. Следует также отметить, что блоки, как и другие элементы на этом рисунке, подразумевают под собой только функциональные объекты, так, что показаны функциональные отношения между объектами, а не какие-либо физические соединения и/или физические отношения. Примеры конструкций, материалов, размеров и производственных процессов приведены для выбранных элементов. Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что многие из представленных примеров имеют подходящие альтернативы, которые можно использовать.

Согласно варианту реализации настоящего изобретения устройство 20 для обработки смеси 25 окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом включает корпус 21, имеющий стенки 210 корпуса. Термин "корпус" широко используется для описания любого контейнера, резервуара, камеры, сосуда, картриджа, окружающего корпуса, сборки рамы или любой другой конструкции, которую можно использовать для осуществления процесса извлечения или экстракции золота из электронных отходов или минералов, руды и песков, соответственно, согласно идее настоящего изобретения.

Стенки 210 корпуса определяют реактор 22 с зоной реакции, в которой смесь 25 нагревается и подвергается воздействию электромагнитного поля. Следует понимать, что корпус 21 может иметь любой желаемый размер и форму, например цилиндрическую, призматическую и т.д. Кроме того, размер полостей может иметь любое желаемое распределение размеров.

Внутренняя поверхность стенок 210 корпуса может быть изготовлена из любых подходящих материалов. Примеры таких материалов включают, но не ограничиваются ими, керамический материал, содержащий по меньшей мере один элемент, выбранный из керамических материалов на основе диоксида кремния, оксида алюминия, оксида магния или диоксида циркония, и любую их комбинацию.

Смесь окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом можно подавать в реактор 22 различными подходящими способами. Например, его можно вводить через вход 23 для подачи, расположенный в стенках 210 корпуса. С этой целью, например, на входе 23 для подачи может быть расположен загрузочный бункер 24. Хотя вход 23 для подачи показан на фиг. 2 в верхней части корпуса 21, в целом он может быть расположен в любом подходящем месте.

Согласно некоторым вариантам реализации реактор 22 содержит нагреватель 221, предназначенный для нагревания и поддержания смеси окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом при предварительно заданной температуре. Температуру и продолжительность нагревания выбирают таким образом, чтобы обеспечить термическое разложение хлорсодержащего материала и получить хлорсодержащую газовую смесь. Например, заданная температура может находиться в диапазоне от около 150 до около 400°C. Нагревание смеси для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала с получением хлорсодержащей газовой смеси можно проводить в течение периода времени в диапазоне от 5 до 120 мин.

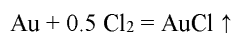
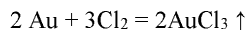
Согласно некоторым вариантам реализации реактор 22 также может включать датчик 222 температуры, расположенный в реакторе 22 внутри смеси 25 и предназначенный для измерения заданной температуры для управления работой нагревателя 221.

Способ извлечения золота из золотосодержащих материалов, таких как материал электронных отходов, минералы, руды и пески, включает приложение электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси в зоне реакции для обеспечения ионизации хлора.

Образование хлорида золота является кинетически ограниченным процессом. Известно, что если хлор присутствует в виде активного радикала (например, в растворе царской водки), хлорирование происходит быстрее, чем при хлорировании молекулами хлора. Следовательно, приведение золота в контакт с плазмой хлора (ионы и радикалы хлора вместо молекул хлора) также может ускорить процесс хлорирования.

Преимущество плазменного хлорирования по сравнению с хлорированием молекулами хлора обусловлено тем фактом, что оно может быть достигнуто при температурах, которые значительно ниже, чем те, которые необходимы для термического хлорирования, и процесс низкотемпературного хлорирования может быть более селективным с образованием чистого хлорида золота для извлечения золота.

Таким образом, согласно варианту реализации, устройство по настоящему изобретению включает электромагнитную катушку 28, имеющую электроды 27, расположенные в корпусе 21, хотя также предусматривается вариант реализации, в котором электроды расположены снаружи корпуса 21. Плазма хлора может, например, удерживаться в зоне реакции путем приложения статического магнитного поля, которое может генерироваться индукционными катушками 26, расположенными в корпусе 21, хотя также предусматривается вариант реализации, в котором индукционные катушки 26 расположены снаружи корпуса 21. Приложение электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси, образующейся в результате разложения хлорсодержащего материала, может обеспечить ионизацию хлора и образование плазмы хлора, вызывая тем самым химическую реакцию между золотом и ионами хлора и обеспечивая летучий золотосодержащий хлоридный продукт в зоне реакции. Примеры таких химических реакций включают, но не ограничиваются ими



Интенсивность электромагнитного поля в зоне реакции зависит от конфигурации устройства, объема смеси 25 и давления хлорсодержащей газовой смеси.

Давление хлорсодержащей газовой смеси в зоне реакции может находиться, например, в диапазоне от 1 мбар до 1 бар. В этих условиях ионизация молекул хлора может достигаться, например, путем приложения переменного электромагнитного поля к зоне реакции на частоте в диапазоне от 50 кГц до 12 ГГц. Интенсивность электромагнитного поля в зоне реакции может, например, находиться в диапазоне от 0,1 до 10 кВт/см².

Чтобы обеспечить ионизацию хлора, электромагнитное поле может, например, быть приложено к хлорсодержащей газовой смеси в течение периода времени от 5 до 180 мин. Статическое магнитное поле для удержания плазмы в зоне реакции может иметь напряженность от 0 до 2 Тл.

Согласно варианту реализации нагрев смеси окисленного дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в зоне реакции осуществляют одновременно с приложением электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси.

Согласно некоторым вариантам реализации реактор 22 содержит входное отверстие 223 для хлорсодержащего газа, связанные с впускным трубопроводом 224 для хлорсодержащего газа, расположенным в стенках корпуса 210 и предназначенным для приема хлорсодержащего газа из внешнего источника (не показан) и направления заданного количества хлорсодержащего газа в зону реакции. Хлорсодержащий газ может, например, представлять собой газовую смесь хлора и благородного газа, такого как аргон; однако газовая смесь может также содержать азот и/или кислород.

При работе хлорсодержащий газ может проходить через зону реакции и добавляться в хлорсодержащую газовую смесь, полученную из хлорсодержащего материала для ионизации. Количество хлорсодержащего газа, который пропускается из внешнего источника через зону реакции, может составлять, например, от 5 до 400 л хлора на тонну указанного золотосодержащего материала, такого как материал электронных отходов или минералы, руды и пески. Это условие может содействовать химической реакции между золотом и ионами хлора. Хлорсодержащий газ может, например, проходить через зону реакции во время нагревания и приложения электромагнитного поля.

При желании внутри впускного трубопровода 224 для хлорсодержащего газа может быть расположен впускной клапан 225 для хлорсодержащего газа. Клапан 225 для ввода хлорсодержащего газа предназначен для регулирования скорости входящего потока хлорсодержащего газа. Термин "клапан", используемый в настоящем описании, имеет широкое значение и относится к любому электрическому и/или механическому устройству, приспособленному для регулирования расхода газов и жидкостей.

Устройство 20 также включает одно или несколько выходных отверстий 226 для золотосодержащих паров (на фиг. 2 показано только одно выходное отверстие 226) и один или несколько соответствующих

охлаждающих трубопроводов 29 (на фиг. 2 показан только один охлаждающий трубопровод 29), через которые золотосодержащий пар выходит из реакционной зоны 22. Охлаждающий трубопровод 29 предназначен для охлаждения летучего золотосодержащего хлоридного продукта (т.е. золотосодержащего пара), чтобы обеспечить конденсацию и тем самым преобразовать летучий золотосодержащий хлоридный продукт в твердофазные золотосодержащие материалы.

Охлаждающий трубопровод 29 может представлять собой трубу, изготовленную из теплопроводного материала, которая открыта для атмосферного воздуха и размещена при комнатной температуре. В этом случае охлаждение золотосодержащих паров может осуществляться во время прохождения материала через охлаждающий трубопровод 29. При желании охлаждающий трубопровод 29 может быть расположен внутри специального охлаждающего устройства (не показано).

Устройство 20 может включать сборник 30 для золотосодержащего материала, соединенный с выходным отверстием 226 для золотосодержащих паров через охлаждающий трубопровод 29. Сборник 30 для золотосодержащего материала может, например, представлять собой любой подходящий сосуд, такой как контейнер, резервуар, камера, картридж, корпус, рама или любая другая конструкция, которая может быть использована для сбора и хранения твердофазных материалов, полученных во время конденсации летучего золотосодержащего хлоридного продукта в соответствии с идеей настоящего изобретения.

Устройство 20 может включать систему управления (не показана), которая соединена с впускным клапаном 225 подачи хлорсодержащего газа и предназначена для управления его работой, или быть подключенным к такой системе. Аналогично, система управления может быть настроена для управления работой нагревателя 221. В частности, сигналы, генерируемые датчиком температуры 222, могут передаваться в систему управления через соединительный провод (не показан) или по беспроводной связи. В ответ на эти сигналы система управления может генерировать соответствующие сигналы управления для управления работой нагревателя 221.

Золото может быть извлечено из золотосодержащих материалов в твердой фазе любым способом извлечения, известным в данной области техники. Например, это может быть удобно достигнуто путем растворения золотосодержащих конденсированных твердых продуктов в воде и обработки раствора металлическим цинком для восстановления золота.

Таким образом, специалисты в области техники, к которой относится настоящее изобретение, могут понимать, что, хотя настоящее изобретение было описано с точки зрения предпочтительных вариантов реализации, концепция, на которой основано это раскрытие, может быть легко использована в качестве основы для разработки других структурных систем и способов для достижения нескольких целей настоящего изобретения.

Кроме того, следует понимать, что фразеология и терминология, используемые в настоящем документе, предназначены для целей описания и не должны рассматриваться как ограничивающие.

Наконец, следует отметить, что слово "содержащий", используемое в прилагаемой формуле изобретения, следует толковать как означающее "включающий, но не ограничивающийся".

Следующие примеры представлены для того, чтобы более полно проиллюстрировать предпочтительные варианты реализации изобретения. Однако их никоим образом не следует истолковывать как ограничивающие широкий объем изобретения.

Примеры

Пример 1. Извлечение золота из золотосодержащего материала.

Провели исследования низкотемпературного спекания с хлором различных промышленных образцов с содержанием золота 4-12 ч/млн. Эксперименты проводили в печи с нагревательными элементами от Kanthal (FeCrAl) при 200-350°C в тиглях из оксида алюминия. Исходный образец составлял 60 г. В качестве хлорсодержащего реагента использовали газообразный хлор и подавали его в печь со значительным избытком. Расход хлора составлял 10 мл/мин. Продолжительность эксперимента составляла 1 ч. Для воспроизводимости экспериментов каждый эксперимент проводили дважды. Сублимированные продукты удаляли из зоны реакции потоком газа.

Образец, полученный после спекания, анализировали методом ICP-MS-спектроскопии. Выход золота при извлечении из продуктов без мышьяка и сурьмы (0,05% As, 0,003% Sb) составил 80-90%. Сублимацию цветных металлов (Cu, Pb, Ag, Zn) и железа не обнаружили.

Пример 2. Извлечение золота из материалов, содержащих мышьяк, сурьму и золото.

Было обнаружено, что присутствие мышьяка, сурьмы или их комбинации в золотосодержащем материале резко снижает извлечение золота с 90 до 30-40%.

Для извлечения золота с высоким процентным выходом из продукта вначале удаляли мышьяк и сурьму. Второй стадией процесса должно быть селективное извлечение золота, как описано в примере 1.

Во время спекания материалов, содержащих мышьяк и сурьму (0,6% As, 0,3% Sb), была получена высокая сублимация мышьяка и сурьмы (70-75%). В то же время извлечение золота резко сократилось до 30-40%.

Чтобы предотвратить сублимацию мышьяка и сурьмы, провели предварительные исследования с целью предварительного удаления мышьяка и сурьмы из исходного материала. Провели термодинамиче-

ские расчеты для всех реакций. Предварительно измельченный исходный образец составлял 60 г (As - 0,71%, Sb - 0,65%, Cu - 11%, Zn - 3,7%, Pb - 38%, Au - 30 ч/млн, Ag - 100 ч/млн, Fe - 2,4%) и его смешивали с углем и восстанавливали при температурах 500, 700 и 900°C. Расход угля составлял 150% от стехиометрического количества угля, необходимого для реакции полного восстановления оксидов мышьяка и сурьмы углеродом. Наилучшие результаты были получены при температуре ~700°C. Была получена почти полная селективная сублимация мышьяка и сурьмы (до 99%).

Сублимация других цветных металлов не была обнаружена. Золото практически полностью осталось в остатке после обжига. Результаты экспериментов показывают, что технологический процесс спекания с хлором должен сопровождаться предварительной стадией удаления мышьяка и сурьмы из исходного материала. Спекание исходного материала с углем значительно увеличит извлечение золота в виде его хлорида в товарный продукт.

Поэтому важно, чтобы объем изобретения не истолковывался как ограниченный иллюстративными вариантами реализации, изложенными в настоящем документе. Возможны другие варианты в пределах объема настоящего изобретения, определенного в прилагаемой формуле изобретения. Могут быть заявлены другие комбинации и подкомбинации признаков, функций, элементов и/или свойств путем изменения настоящей формулы изобретения или представления новых пунктов формулы изобретения в настоящей или связанной заявке. Такие измененные или новые пункты формулы изобретения, независимо от того, направлены ли они на различные комбинации или направлены на те же комбинации, будь то отличные, более широкие, более узкие или равные по объему первоначальным пунктам формулы изобретения, также рассматриваются как включенные в предмет настоящего описания.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ извлечения золота из золотосодержащего материала, включающий измельчение указанного золотосодержащего материала с получением золотосодержащего дисперсного материала;

предварительный нагрев указанного золотосодержащего дисперсного материала в кислородсодержащей газовой среде в зоне предварительного нагрева для окисления золотосодержащего дисперсного материала;

смешивание окисленного золотосодержащего дисперсного материала с композицией, содержащей хлорсодержащий материал и наноразмерный диоксид кремния;

обработку смеси окисленного золотосодержащего дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в реакционной зоне путем (i) нагревания смеси для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала и получения хлорсодержащей газовой смеси, (ii) приложения электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси для обеспечения ионизации хлора; тем самым вызывая химическую реакцию между золотом и ионами хлора и обеспечивая летучий золотосодержащий хлоридный продукт в зоне реакции; и

охлаждение указанного летучего золотосодержащего хлоридного продукта для превращения указанного летучего золотосодержащего хлоридного продукта в твердофазный золотосодержащий продукт.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанный золотосодержащий материал содержит другие металлы и при этом способ дополнительно включает сублимацию других металлов из указанного материала.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что золотосодержащий материал выбран из использованных золотосодержащих печатных плат, золотосодержащих деталей электронных устройств, отработанных золотосодержащих электрических разъемов и золотосодержащих минералов, руд и песков.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанный золотосодержащий дисперсный материал имеет заданный размер зерна, который находится в диапазоне от 0,07 до 40 мкм.

5. Способ по п.2, отличающийся тем, что стадия сублимации других металлов проходит при температуре от 500 до 900°C.

6. Способ по п.2, отличающийся тем, что указанные другие металлы включают мышьяк, сурьму или их комбинацию.

7. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что количество хлорсодержащего материала в смеси находится в диапазоне от 1 г до 1 кг на 1 кг золотосодержащего материала.

8. Способ по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что указанный хлорсодержащий материал представляет собой дисперсный материал, выбранный из гипохлорита калия, гипохлорита натрия, гипохлорита кальция, гипохлорита магния, гипохлорита бария, хлорида-гипохлорита калия, хлорида-гипохлорита натрия, хлорида-гипохлорита кальция, хлорида-гипохлорита магния, хлорида-гипохлорита бария, хлорида калия, хлорида натрия, хлорида аммония, хлорида кальция, хлорида магния, хлорида бария и хлорида алюминия или любых их комбинаций.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что композиция, содержащая указанный хлорсодержащий материал и наноразмерный диоксид кремния, состоит из гипохлорита кальция, хлорида кальция и наноразмерного диоксида кремния.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что композиция, содержащая указанный хлорсодержащий материал, состоит из гипохлорита кальция и наноразмерного диоксида кремния.

11. Способ по п.10, отличающийся тем, что указанный гипохлорит кальция смешан с наноразмерным диоксидом кремния в твердом или жидком виде для разложения указанного гипохлорита кальция с получением указанной хлорсодержащей газовой смеси.

12. Способ по любому из пп.8-11, отличающийся тем, что указанный наноразмерный диоксид кремния имеет размер частиц менее 200 нм.

13. Способ по п.9, отличающийся тем, что количество гипохлорита кальция в указанной композиции из гипохлорита кальция и хлорида кальция находится в диапазоне от 5 до 99 мас.%.

14. Способ по любому из пп.1-13, отличающийся тем, что указанный предварительный нагрев золотосодержащего дисперсного материала осуществляют при температуре в диапазоне от 150 до 750°C.

15. Способ по любому из пп.1-14, отличающийся тем, что указанный предварительный нагрев золотосодержащего дисперсного материала осуществляют в течение периода времени в диапазоне от 5 до 60 мин.

16. Способ по любому из пп.1-15, отличающийся тем, что содержание кислорода в указанной кислородсодержащей газовой среде в зоне предварительного нагрева находится в диапазоне от 20 до 98 об.%.

17. Способ по любому из пп.1-16, отличающийся тем, что указанное нагревание смеси для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала и получения хлорсодержащей газовой смеси осуществляют при температуре в диапазоне от 150 до 400°C.

18. Способ по любому из пп.1-17, отличающийся тем, что указанный нагрев смеси для обеспечения термического разложения хлорсодержащего материала и получения хлорсодержащей газовой смеси осуществляют в течение периода времени в диапазоне от 5 мин до 120 мин.

19. Способ по любому из пп.1-18, дополнительно включающий пропускание хлорсодержащего газа из внешнего источника через зону реакции во время приложения электромагнитного поля.

20. Способ по п.19, отличающийся тем, что количество хлорсодержащего газа, пропускаемого из внешнего источника через зону реакции, находится в диапазоне от 5 до 400 л хлора на тонну указанного золотосодержащего материала.

21. Способ по любому из пп.1-20, отличающийся тем, что частота электромагнитного поля в зоне реакции находится в диапазоне от 50 кГц до 12 ГГц.

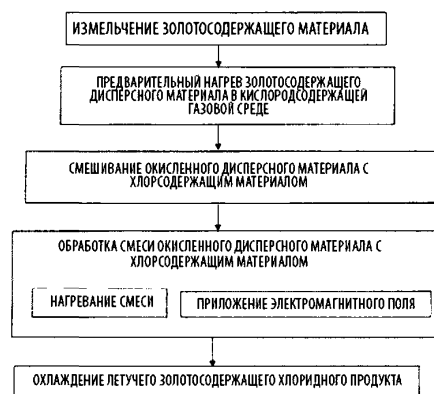
22. Способ по п.1, отличающийся тем, что интенсивность электромагнитного поля в зоне реакции находится в диапазоне от 0,1 до 10 кВт/см².

23. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанное приложение электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси для обеспечения ионизации хлора осуществляют в течение периода времени в диапазоне от 5 до 180 мин.

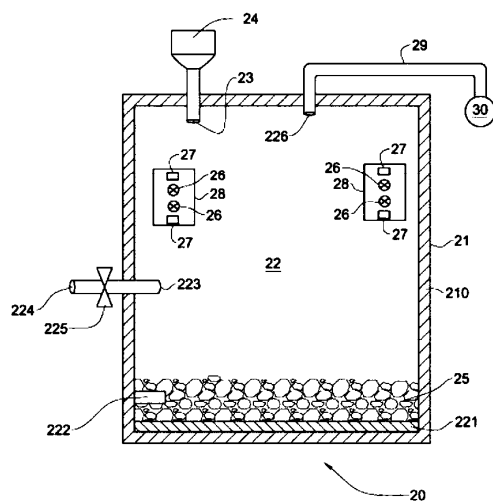
24. Способ по любому из пп.1-23, отличающийся тем, что указанный нагрев смеси окисленного золотосодержащего дисперсного материала с хлорсодержащим материалом в зоне реакции осуществляют одновременно с указанным приложением электромагнитного поля к хлорсодержащей газовой смеси.

25. Способ по любому из пп.2-24, отличающийся тем, что другие металлы золотосодержащего дисперсного материала указанного золотосодержащего дисперсного материала включают мышьяк и сурьму, и указанные мышьяк и сурьму сублимируют путем смешивания с углем и восстановления при температурах 500-900°C.

26. Способ по п.25, отличающийся тем, что расход угля составляет 130-170% от стехиометрического количества угля, необходимого для реакции полного восстановления оксидов мышьяка и сурьмы углеродом.



Фиг. 1



Фиг 2

