



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта победителя конкурса

Название работы – Проводящие чернила из двумерных наночастиц.

Авторы – Васильев Денис Романович, Васильева Елизавета Романовна (6 класс, ГБОУ Школа № 1580, г. Москва).

Руководители – к.б.н., учитель биологии Величко М.С., учитель биологии Булдыгина С.В.

Основная идея работы, цели, задачи

В нашей работе мы попробовали экспериментально провести электрохимическое расщепление двумерных кристаллов. Электрохимические реакции происходят в батарейках и аккумуляторах. В электрическом поле приложенного напряжения ионы движутся к электроду противоположного знака. Если электрод сделан из слоистого соединения, например графита, ионы встраиваются между слоями. Это явление называется электрохимической интеркаляцией (от лат. Intercalatus – вставленный, добавленный) обратимое встраивание атома или молекулы между другими молекулами в соединении или кристалле [1]. Таким образом, в аккумуляторах запасается заряд. В нашей работе мы предположили, что если ионы будут большими, то они расщепят такой кристалл на слои. Мы проверили эту гипотезу и изучили возможность использования этого явления для расщепления слоистых кристаллов на слои толщиной один атом. Таким образом, в работе был синтезирован кристалл селенида олова, исследована возможность интеркаляции для расщепления такого кристалла на двумерные слои и получены проводящие чернила на основе таких слоев.

Цель работы: Получить коллоидный раствор двумерных наночастиц полупроводника селенида олова для проводящих покрытий.

Задачи работы:

1. Синтезировать кристалл селенида олова SnSe_2 .
2. Получить коллоидный раствор с помощью электрохимического взаимодействия с большими ионами.
3. Изучить возможность получения проводящих покрытий.

Использованы соответствующие *методы исследования:*

1. Подбор и анализ литературы.
2. Практические опыты и наблюдение.
3. Выводы.

Объект исследования: кристалл селенида олова.

Предмет исследования: получение кристалла селенида олова и проведение электрохимических реакций с ним.

Гипотеза исследования: мы предположили, что при электрохимических реакциях слоистый кристалл селенида олова распадется на отдельные слои, которые можно использовать для создания проводящей бумаги.

Основные результаты

1. Обзор литературы

Кристаллами называются твердые тела, в которых атомы, составляющие твердое тело, уложены определенным упорядоченным образом [1, 2]. Порядок расположения атомов называется кристаллической решеткой и определяет свойства твердого тела. Если атомы расположены неупорядоченно, то твердое тело называется аморфным. Такой структурой обладают стекла, например, оконное стекло. Кристаллы в отличие от стекол, имеют упорядоченную в пространстве структуру расположения атомов. Из-за этого свойства кристаллов зависят от направления. Например, кристаллы имеют определенную огранку – в пространстве образуется симметричная форма правильных многоугольников. Это свойство кристаллов ценится людьми с давних пор, драгоценные камни являются кристаллами [3]. Например, самый дорогой драгоценный камень - алмаз, состоит из атомов углерода, образующих в пространстве кубическую решетку, и естественная огранка алмаза – куб или октаэдр (рисунок 1а, б).

Среди разнообразных типов расположения атомов в кристаллах можно выделить особый класс кристаллов – слоистые кристаллы. В этом случае в кристаллической решетке можно выделить плоскости, в которых атомы связаны прочнее, чем между плоскостями. Один из самых известных примеров слоистого кристалла – графит (рисунок 1б, в). По составу графит состоит из атомов углерода, как и драгоценный алмаз, однако свойства его совсем другие. Из-за слоистой структуры графит легко отщепляет слои при механическом воздействии и легко оставляет след на бумаге. Поэтому графит используется в карандашах в качестве грифеля.

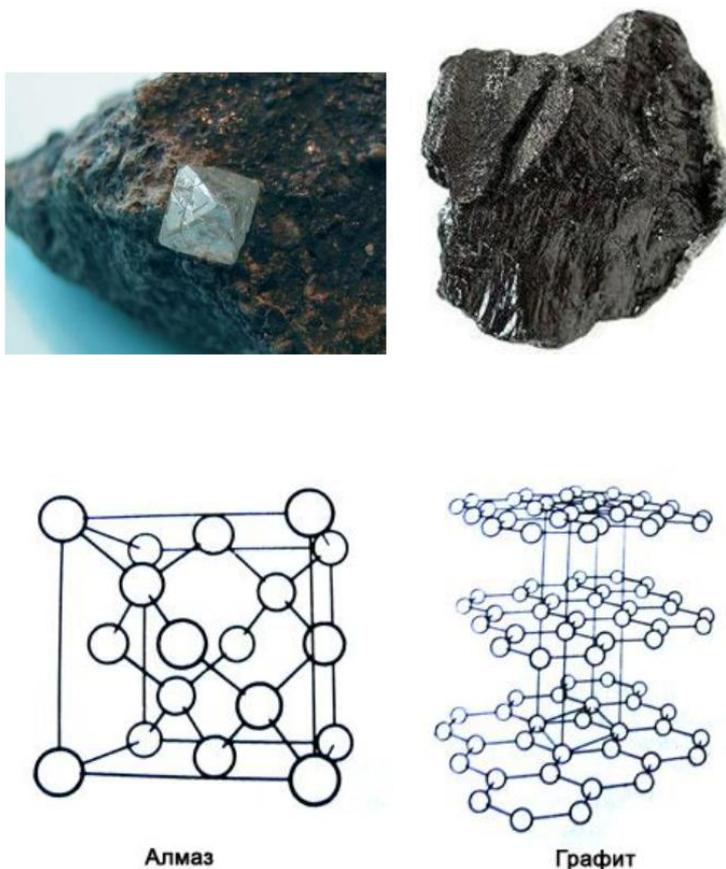


Рис. 1. (а) Фотография кристалла природного алмаза, имеющего форму октаэдра.
(б) Кристаллическая структура алмаза. (в) Фотография природного графита.
(г) Кристаллическая структура графита.

Другой пример слоистого кристалла – слюда [2]. Слюда - прозрачный материал, легко механически расщепляемый на тонкие чешуйки, и находящийся в природе в виде пластинчатых тонких кристаллов (рисунок 2). Благодаря широкой распространённости и способности слюды расщепляться на очень тонкие, почти прозрачные листы, она использовалась с древних времён. До появления производства оконных стекол, пластинки слюды использовали для остекления окон в жилищах.

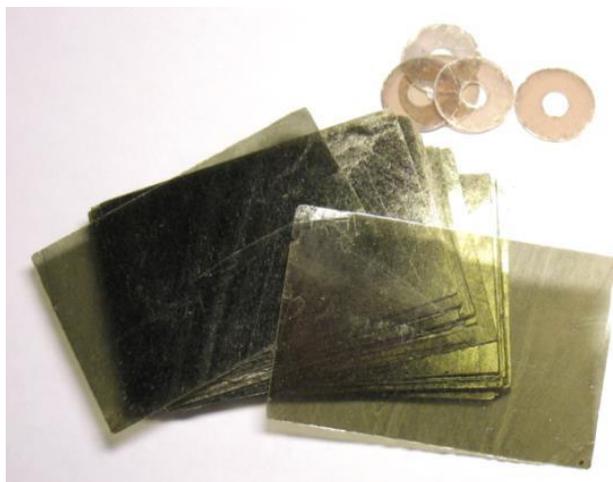


Рис. 2. Фотография пластинок слюды.

Соединения олова с серой и селеном имеют выраженную слоистую структуру [1]. Наиболее известны соединения с серой и селеном – дисульфид и диселенид олова. Дисульфид олова образует ярко-желтые пластинчатые кристаллы с золотистым оттенком (рисунок 3). Кристаллическая решетка дисульфида олова образована слоями атомов олова и серы. Дисульфид олова используется для имитации позолоты – это так называемое муссивное золото [3]. Селенид олова по своей структуре и свойствам является аналогом дисульфида олова и также образует пластинчатые кристаллы, только серебристого цвета. Оба соединения олова являются полупроводниками и хорошо проводят электрический ток.



Рис. 3. Фотография кристаллов сульфида олова.

Явление электрохимического внедрения (интеркаляции) используется в электрохимических аккумуляторах, например, в литий-ионных аккумуляторах [1]. Литий-ионный аккумулятор — тип электрического аккумулятора, который широко распространён в современной бытовой электронной технике и находит своё применение в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах. Это самый популярный тип аккумуляторов в таких устройствах как сотовые телефоны, ноутбуки, цифровые фотоаппараты, видеокамеры и электромобили. Литий-ионные аккумуляторы являются одним из типов химических источников тока.

Химический источник тока – это источник электродвижущей силы (создает напряжение и электрический ток), в котором энергия протекающих в нём химических реакций непосредственно превращается в электрическую энергию.

Химические источники тока делятся на:

1. Батарейки (гальванические элементы) - из-за необратимости протекающих в них реакций невозможно перезарядить. Гальванический элемент — химический источник электрического тока, названный в честь итальянского ученого Луиджи Гальвани. Принцип действия гальванического элемента основан на взаимодействии двух металлов через электролит, приводящем к возникновению в замкнутой цепи электрического тока [4, 5]. Батарейки широко используют в быту.
2. Электрические аккумуляторы — перезаряжаемые гальванические элементы, которые с помощью внешнего источника тока (зарядного устройства) можно перезарядить. Электрический аккумулятор — химический источник тока многократного действия (то есть в отличие от батареек химические реакции, непосредственно превращаемые в электрическую энергию, многократно обратимы) [6]. Электрические аккумуляторы используются для накопления энергии и автономного питания различных устройств.

Литий-ионный аккумулятор состоит из двух электродов и электролита, содержащего ионы лития (рисунок 4). При зарядке аккумулятора в электрическом поле положительно заряженные ионы лития движутся к электроду противоположного знака - катоду. Катод делается из слоистого соединения, как правило, графита, и ионы встраиваются между слоями атомов в графите. Таким образом, в аккумуляторах запасается заряд. При разряде аккумулятора процессы идут в обратном направлении.

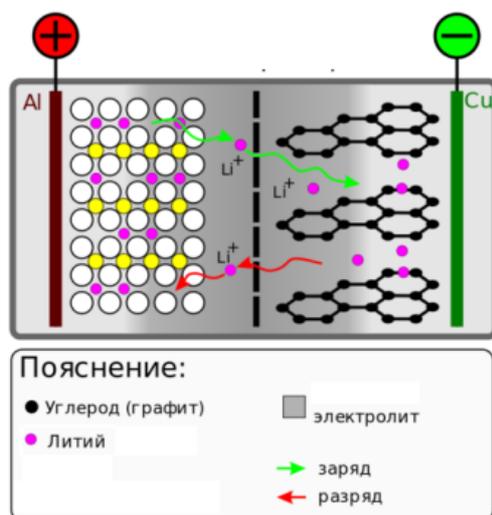


Рис. 4. Схема работы литий-ионного аккумулятора.

2. Материалы и методики эксперимента

В работе были использованы следующие реактивы: металлическое олово, селен; растворитель для электрохимических реакций - ацетонитрил; органическое вещество, содержащее большой катион – тетраоктиламмоний бромид; растворитель для получения золя – этиловый спирт. Используемое оборудование: источник тока, система для откачивания ампул, муфельная печь, электронные весы. Эксперименты частично были проведены на базе Химического факультета МГУ им М.В. Ломоносова.

Последовательность действий была следующей: мы рассчитали необходимые массы олова и селена для получения 2 г. селенида олова. Молярная масса селенида олова 276 г/моль, олова 118 г/моль, селена 79 г/моль. Масса олова для получения кристалла 0,86 г, масса селена 1,14 г. Далее мы взвесили необходимые массы и поместили вещества в ампулу. После этого был откачан воздух и ампулу запаяли на горелки. Затем ампулу поместили в муфельную печь при 600°C на 24 часа. Таким образом, мы вырастили кристалл селенида олова. Затем была собрана электрохимическую систему: мы приготовили электролит, растворив тетраоктиламмоний бромид в ацетонитриле, затем присоединили кристалл селенида олова к отрицательному проводу источника напряжения, а к положительному присоединили графитовый электрод. Электроды опустили в электролит и установили напряжение 4 В. Через час выключили напряжение. Кристалл селенида олова при этом сильно увеличился в растворе. Мы поместили его в спирт и энергично встряхивали длительное время. Кристалл при этом рассыпался, спирт окрасился в темно-красный цвет.

3. Полученные результаты

В качестве объекта исследования был выбран кристалл со слоистой структурой. Самыми простыми с точки зрения получения были соединения олова с серой и селеном [2]. Было бы интересно взять серу для получения кристалла, однако сера слишком бурно реагирует с оловом, что опасно, поэтому мы взяли селен. Селенид олова образуется в результате реакции между химическими элементами оловом и селеном. Для того, чтобы элементы стали реагировать, их нужно расплавить. Олово плавиться при температуре 230°C, а селен при температуре 217°C [2]. Если эти вещества нагреть на воздухе, они окислятся. Чтобы избежать окисления этих веществ, для проведения реакции вещества запаяли в ампулу, из которой откачали воздух. Нагрев выше температуры плавления приводит к реакции и образованию расплава селенида олова, который при медленном остывании кристаллизуется.

У нас получился красивый блестящий серебристый кристалл селенида олова (рисунок 5). Кристалл был похож на пластинку с размерами 2,5 см на 0,5 см на 2 мм. Одна сторона у него была ровная и блестящая, на другой остались следы от стенки ампулы. Кристалл селенида олова похож по свойствам на графит, он проводит электрический ток и оставляет след на бумаге, как карандаш.



Рис. 5. Фотографии кристалла селенида олова.

Мы вырастили два кристалла, один оставили для сравнения, а другой использовали для проведения реакции. Была собрана установка для проведения электрохимической реакции (рисунок 6) [5]. Эта реакция аналогична работе аккумуляторов, только в электролит добавлено специальное вещество, ионы которого большие. При электрохимической реакции большие органические ионы из электролита, которые заряжены положительно, движутся к катоду (положительный электрод). Эти ионы встраиваются между слоями селенида олова и расталкивают их (рисунок 7).



Рис. 6. Фотография установку для проведения электрохимической реакции.

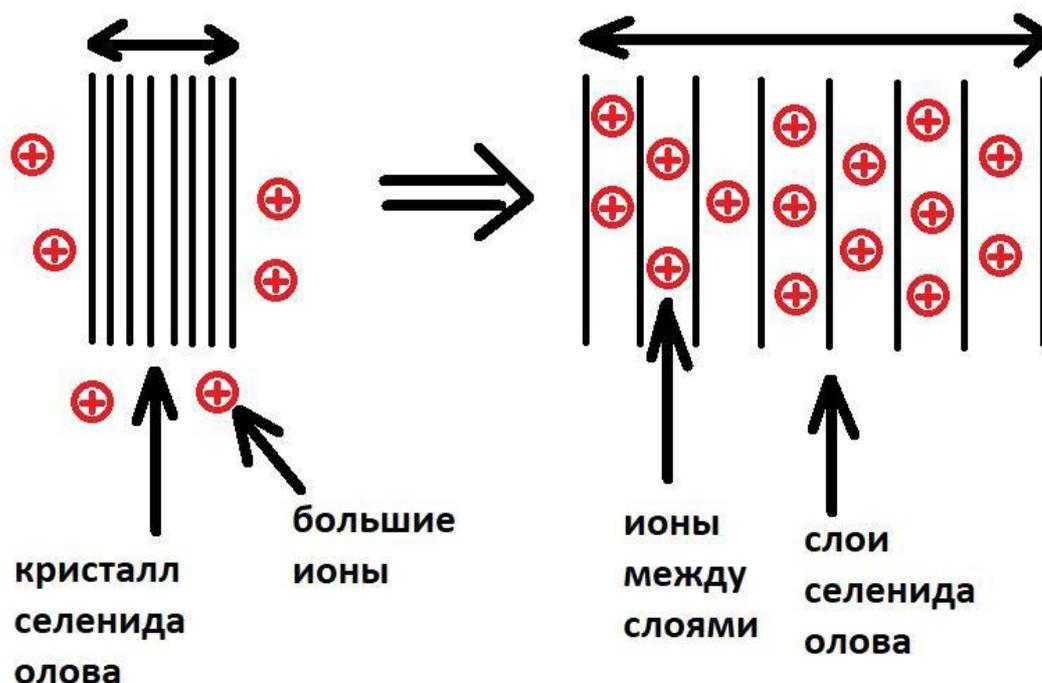


Рис. 7. Схема электрохимической реакции встраивания ионов между слоями селенида олова.



Рис. 8. Фотография кристаллов селенида олова до и после проведения электрохимической реакции.

На фотографии кристалла после реакции (рисунок 8) можно видеть, что кристалл стал больше, увеличившись в объеме. Особенно это хорошо видно, если сравнить кристаллы до и после реакции. При этом кристалл перестал блестеть.

Встраивание больших ионов и увеличение объема кристалла приводит к тому, что слои селенида олова в кристалле слабее связаны между собой. Поэтому такой кристалл легко рассыпается. Если поместить его в спирт, то энергичное встряхивание приводит к рассыпанию кристалла. При этом свободные слои селенида олова переходят в растворитель и образуют раствор, который называется коллоидным раствором – это и есть проводящие чернила (рисунок 9). Раствор получился ярко окрашенным, потому что селенид кадмия поглощает свет. В кристалле это приводит к металлической окраске, а в растворе очень тонкие (толщиной в один атом) слои поглощают свет по-другому, и раствор окрашен в красный цвет.

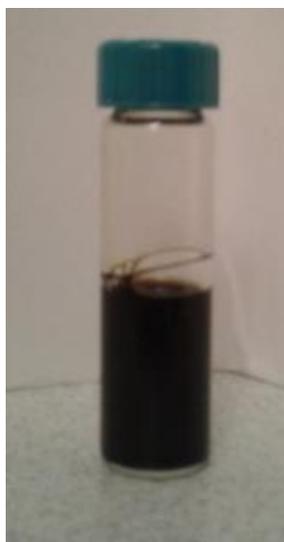


Рис. 9. Раствор проводящих чернил.

Мы пропитали этим раствором бумагу и высушили ее. Затем мы попробовали с помощью тестера узнать, проводит ли бумага. Оказалось, что бумага стала проводящей. Сопротивление проводящей бумаги составило 15МОм (рисунок 10).



*Рис. 10. Измерение проводимости полученной бумаги.
Слева - чистая бумага, справа – бумага пропитанная чернилами.*

Таким образом, с помощью наших чернил можно сделать проводящие покрытия. Такие покрытия применяются в солнечных батареях, а еще этим раствором можно пропитать ткань, и на ткани перестанет скапливаться статическое электричество.

Выводы, заключение, перспективы

Выводы:

1. Мы узнали, какие бывают кристаллы, как работают аккумуляторы и как проводить электрохимические реакции.
2. Мы провели опыты и получили кристалл селенида олова. Затем с помощью электрохимической реакции мы расщепили кристалл на двумерные слои и получили раствор двумерных слоев селенида олова – проводящие чернила.
3. С помощью извлеченных чернил мы сделали проводящую бумагу. Такой способ очень удобен, так как можно наносить проводящее покрытие на любой материал.

Практическая значимость

Полученные в работе проводящие чернила могут быть использованы для нанесения проводящих покрытий на различные материалы. Это важно для обработки тканей против статического электричества, для создания проводящих клеев. Также проводящие чернила могут быть использованы для создания солнечных батарей.

Список цитированных источников

1. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 1: - М.: Сов. энцикл., 1988. – 623 с.
2. Леенсон И.А. Химические элементы. Путеводитель по Периодической системе. М. Аст. 2017. – 168 с.
3. Гураль С. Драгоценные камни. Гид по миру ювелирных секретов. М. Бомбора. 2012. – 188 с.
4. Леенсон И.А. Занимательная химия. М. Мир энциклопедий Аванта, Астрель. 2010. – 366 с.
5. Ольгин О. Опыты без взрывов. Изд. второе, переработанное. М.: Химия, 1986. – 192 с.
6. Варыпаев В.Н., Дасоян М.А., Никольский В.А. Химические источники тока. М.: Высшая школа, 1990. – 240 с.