

3. В области частот, превышающих пороговую ($\nu > \nu_0$), частотная зависимость коэффициента поглощения имеет вид:

$$\alpha = \text{const} \left(\frac{h\nu - E_g}{h\nu} \right). \quad (13.17)$$

Это выражение аналогично по форме соответствующему выражению для коэффициента поглощения при непрямах переходах в кристаллических полупроводниках. Измерив коэффициенты поглощения при $\nu < \nu_0$ и в области $\nu > \nu_0$, можно определить «оптическую» ширину запрещенной зоны E_g . Величина E_g соответствует тому значению энергии, при котором зависимость $\ln \alpha$ от $h\nu$ перестает быть линейной функцией $h\nu$.

13.4. ПРИМЕНЕНИЕ АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Приведенный выше далеко не полный обзор свойств аморфных твердых тел свидетельствует о том, что некристаллические вещества образуют класс материалов с большим разнообразием физических свойств. Их относительно слабая чувствительность к посторонним примесям позволяет использовать для изготовления аморфных твердых тел более простые и дешевые методы, чем в случае выращивания монокристаллов. Все это вместе взятое дает основание утверждать, что применение некристаллических твердых тел будет еще более широким.

В настоящее время наиболее перспективными областями использования аморфных полупроводников считаются следующие.

Электрофотография (ксерография) — процесс, в котором используются фотопроводящие свойства селенового стекла. Остававшийся долгое время без объяснения этот процесс сейчас в основном понят. Для получения копии сначала заряжают верхнюю поверхность пленки из селенового стекла, распыляя по ней положительные ионы. При этом на металлической подложке, на которую нанесено стекло, образуется отрицательный заряд изображения. Затем пленку освещают отраженным от копируемого оригинала светом. Там, где на оригинале была буква, свет поглощается, где буквы не было, свет отражается от листа и после попадания на стекло его энергия поглощается электронно-дырочными парами вблизи верхней поверхности. Сильное электрическое поле внутри полупроводника разделяет пары. Электроны поднимаются вверх и нейтрализуют положительные ионы на верхней поверхности; дырки движутся к металлической подложке и нейтрализуют на ней отрицательный заряд. В результате этого поверхность селенового стекла становится электронейтральной там, где не было букв на оригинале, и остается положительно заряженной там, где буквы

были. Затем к положительно заряженным областям притягиваются отрицательно заряженные черные частицы красителя. Краситель переносится на лист положительно заряженной бумаги и закрепляется нагреванием. На этом процесс копирования заканчивается.

Применение фотопроводящих свойств халькогенидных стекол продолжает расширяться. На основе трехслойных композиций таких стекол созданы аппараты для цветного копирования. В них с помощью цветных фильтров и красителей можно очень быстро получить копии цветных оригиналов.

Производство солнечных батарей — устройств для прямого превращения солнечного излучения в электроэнергию. Надежность солнечных батарей была доказана на множестве космических приборов. Основным материалом, используемым для производства солнечных батарей, является кремний, второй по распространенности на земной коре элемент. Однако высокая стоимость изготовления совершенных высокочистых кристаллов кремния является серьезным препятствием к тому, чтобы солнечные батареи на основе кристаллического кремния нашли широкое распространение, и это несмотря на настоятельную потребность в новых источниках энергии.

Значительные перспективы в этом отношении открывает применение аморфного кремния. Кроме более дешевой технологии существует еще ряд преимуществ, связанных с заменой кристаллического кремния на аморфный. К ним относятся, например, возможность получения аморфного кремния в виде тонких слоев большой площади, повышенная радиационная стойкость устройств на основе аморфного кремния, возможность изготовления батарей на гибких подложках и т. д.

Изготовление переключающих и запоминающих устройств — такие устройства находят широкое применение при производстве электронных вычислительных машин.

В период с 1958 по 1968 г. С. Овшинский открыл и исследовал необычные свойства *переключения* у халькогенидных стекол. Переключением называют способность вещества обратимо переходить из одного состояния в другое под влиянием какого-либо внешнего воздействия. Два рода переключения, существующие в халькогенидных стеклах, иллюстрирует рис. 13.15, где приведены вольт-амперные характеристики этих полупроводников. Рис. 13.15. а соответствует так называемому *пороговому переключению*. Приложение к стеклу напряжения выше порогового (V_p) приводит к скачку вольт-амперной характеристики с ветви 1 на ветвь 2, что соответствует увеличению проводимости полупроводника примерно в миллион раз (состояние «включено»). Если напряжение, приложенное к такому переключателю, находящемуся в проводящем состоянии, уменьшается до точки возврата, то стекло вновь переключается

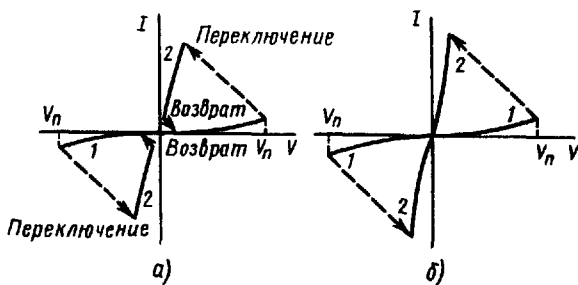


Рис. 13.15 Вольт-амперные характеристики с переключением

в состоянии с малой проводимостью (ветвь 1). Это соответствует состоянию «выключено».

Вольт-амперные характеристики, изображенные на рис. 13.15, б, относятся к *переключению с запоминанием*. Они реализуются на стеклах с другими свойствами. При достижении порогового напряжения (V_n) здесь происходит переключение в проводящее состояние (1→2). Это состояние сохраняется в стекле, даже если приложенное напряжение равно нулю. Состояние «выключено» может быть достигнуто после пропускания определенного импульса тока.

Механизм переключения, так же как и многие другие свойства аморфных полупроводников, понят в последние годы. Он связан с особенностями электронной структуры халькогенидных стекол. Установлено, что проводящее состояние достигается только тогда, когда все присутствующие в стекле положительно и отрицательно заряженные ловушки заполняются носителями заряда, возбужденными приложенным электрическим полем. При этом время жизни инжектированных носителей резко возрастает. Если до заполнения ловушек оно было много меньше времени, за которое носители успевают пересечь всю толщину пленки, то после заполнения ловушек оно становится больше этого времени. Это приводит к увеличению тока и уменьшению напряжения, т. е. наступает проводящее состояние.

Переключение с запоминанием наблюдается в стеклах, которые могут сравнительно легко кристаллизоваться. Когда напряжение достигает порогового значения, в этих материалах образуются тонкие нити кристаллического вещества, которые и делают возможным запоминание. При пропускании подходящего импульса тока кристаллическая нить расплавляется и восстанавливается однородное стеклообразное состояние. Таким образом, переключение с запоминанием есть следствие перехода между аморфным и кристаллическим состояниями, ко-

торый в ряде халькогенидных стекол является обратным.

В некоторых стеклообразных полупроводниках переход в высокопроводящее состояние может быть осуществлен под действием света. Это открывает большие возможности для использования их в области печати. Из аморфного полупроводника с таким запоминаемым переключением можно изготовить постоянную матрицу и сделать с нее неограниченное число электрографических отпечатков без необходимости добавочного экспонирования. Вообще одной из наиболее перспективных областей использования некристаллических полупроводников является область получения изображения.

11.5. АМОРФНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ

Аморфные диэлектрики в виде тонких пленок находят широкое применение в микроэлектронике. Во многих таких диэлектриках, так же как и в аморфных полупроводниках, проводимость (весьма незначительная!) осуществляется путем перескоков из одного локализованного состояния в другое. Энергия активации этого процесса значительно ниже, чем энергия активации примесной проводимости в кристаллических диэлектриках.

Поскольку аморфные диэлектрики имеют более низкую плотность, чем соответствующие кристаллы, их диэлектрическая проницаемость несколько понижена по сравнению с кристаллическими аналогами.

Диэлектрические потери аморфных диэлектриков существенно зависят от ширины щели подвижности. Если ширина щели подвижности невелика, то потери обусловлены, в основном, прыжковой проводимостью.

11.6. АМОРФНЫЕ МЕТАЛЛЫ

В последние годы проявляется исключительно большой интерес к новому классу материалов — аморфным металлам, называемым также металлическими стеклами. Аморфное состояние металлов наблюдалось уже давно при осаждении слоев металла из электролита и при термическом напылении на холодную подложку. В настоящее время создана весьма экономичная и высокопроизводительная технология получения аморфных металлов, в основе которой лежит быстрое (со скоростью больше 10^6 К/с) охлаждение тонкой струи расплавленного металла. По-видимому, любой расплав можно привести к твердому аморфному состоянию. Установлено, однако, что формирование аморфных слоев облегчается, если к металлу добавить некоторое количество примесей. Еще более благоприятные