

Влияние структурных особенностей поликристаллических пленок полупроводников на формирование эффекта аномального фотонапряжения. I. Механизм явления

© Ш.Б. Атакулов, С.М. Зайнолобидинова, Г.А. Набиев*, О.А. Тухтаматов

Ферганский государственный университет,
150100 Фергана, Узбекистан

* Ферганский политехнический институт,
150107 Фергана, Узбекистан

(Получена 16 февраля 2011 г. Принята к печати 21 ноября 2011 г.)

Предложена модель поликристаллического полупроводника, соответствующая его реальной структуре, и на основе этой модели развит механизм аномальных фотовольтаических эффектов (возникновение аномального фотонапряжения, его зависимость от угла освещения, аномальный фотомангнитный эффект). Считается, что потенциальные барьеры, вносящие неоднородность в пространственное распределение фотоносителей, возникают вследствие захвата основных носителей заряда на поверхностные состояния границ кристаллитов. Эффект существенно зависит от амплитуды барьера: если изгиб зон у границ кристаллитов истощающий, эффект определяется пространственным разделением основных фотоносителей барьером, в противном случае (инверсионный изгиб зон) эффект формируется за счет разделения неосновных фотоносителей. В основе механизма лежат анизотропия поглощения света объемом поликристалла (истощающий изгиб зон) или геометрическая неоднородность пленок, вызванная косым напылением при получении (инверсионный изгиб зон). Причиной анизотропного поглощения света является отражение света границами кристаллитов.

1. Введение

Более 60 лет назад Старкиевич и др. [1] обнаружили в поликристаллах PbS фотонапряжения 1–2 В, заметно превышающие ширину запрещенной зоны (E_g) материала. Большое внимание эффект привлек после 1958 г., когда авторы работы [2] наблюдали в косонапыленных пленках CdTe фотонапряжения в сотни вольт. По-видимому, именно в те годы в физику полупроводников вошел термин „аномальное фотонапряжение“ (АФН). Наиболее полно экспериментальные закономерности эффекта и обсуждение его физической картины представлены в [3,4], а также в более поздних работах (например, в [5]). Механизмы эффекта обсуждаются давно, но ни один из них не дает полного объяснения тех или иных закономерностей эффекта в рамках одной модели. Интерес к явлению не ослаб и по сей день, что, возможно, связано с неудовлетворенностью исследователей существующими объяснениями эффекта [6]. Дело в том, что все физические модели, разработанные по настоящее время, включали в себя хотя бы одно допущение, никак не соответствующее реальной физической ситуации, например, существование $p-n$ -переходов в монополярном полупроводнике или специфическое „дендритное“ строение приповерхностного слоя пленок [3–5]. (Как будет указано далее, $n-p-n$ - или $p-n-p$ -переходы в монополярном полупроводнике возникать могут). Теоретические работы в большинстве своем посвящены усовершенствованию $p-n$ -переходной

модели (см., например [7]). В модели [8,9] считается, что зерна полупроводникового материала n -типа проводимости разделены диэлектрической прослойкой, на разных сторонах которой существуют поверхностные состояния (ПС), имеющие разные характеристики (уровни энергии, концентрации, сечения захвата фотоносителей). Такое предположение необходимо для обоснования асимметрии свойств границ зерен, без которой генерация фотоэдс просто невозможна. Таким образом, вновь в рассмотрение вводится искусственный параметр, хотя хорошо известно, что АФН можно наблюдать и в достаточно совершенных блочных поликристаллах, где образование прослоек проблематично [10,11]. На наш взгляд, такому обилию подходов к интерпретации эффекта способствовали некоторые, кажущиеся противоречивыми, закономерности в наблюдении эффекта на разных объектах. Опираясь на ряд наиболее интересных экспериментов [3–5,10–15], перечислим их.

Во-первых, в подавляющем большинстве случаев для обнаружения эффекта АФН не требовалось при получении образцов привлекать технологии косого напыления, достаточно было освещать пленки под углом к поверхности подложки; в других типах пленок эффект проявлялся лишь при косом напылении (например, в пленках CdTe).

Во-вторых, исследование зависимости фотонапряжения V_{APV} от угла освещения обнаружило, что в одних типах пленок (Ge, PbS и др.) при освещении под углом, близким к углу напыления пленки, наблюдается инверсия знака V_{APV} , в других типах инверсии нет (CdTe).

Наконец, существуют материалы (GaAs), пленки которых могут быть и того и другого типов.

* E-mail: gulamnabi@mail.ru

Не приводя здесь более подробного описания эффекта, остановимся на механизме явления, который, на наш взгляд очень прост, но в то же время достоверно объясняет эффект. Предлагаемая модель не содержит предположений, хотя бы как-то противоречащих реальной структуре и другим свойствам поликристаллов, в которых наблюдается АФН. Это и понятно: одной конкретной структуре не могут соответствовать две разные модели, если даже в рамках каждой из них имеется возможность объяснить определенные физические явления, наблюдаемые в поликристаллах.

2. Модель

Рассмотрим для определенности поликристаллическую пленку *n*-типа проводимости с акцепторными межкристаллитными ПС, имеющими один дискретный энергетический уровень E_s , расположенный в запрещенной зоне. Уровень легирования в пленках — N_d , примеси полностью ионизованные; концентрация ПС — N_s . Если $E_F^T > E_s$ (E_F^T — уровень Ферми в темноте), электроны проводимости захватываются на ПС, образуя симметричный относительно границы кристаллита (ГК) потенциальный барьер высотой ϕ , так как объемные свойства кристаллитов по обе стороны ГК идентичны, а ПС коллективизированы соприкасающимися кристаллитами. Модель пленки (а), дно зоны проводимости E_c в темноте (b) и при стационарном освещении перпендикулярно падающим на поверхность пленки светом с длиной волны из области собственного поглощения материала пленки (c) изображены на рис. 1.

Более подробно такая модель описана в [16–18], где успешно развита теория эффекта Холла и фотоэлектрических эффектов в поликристаллических пленках полупроводников.

При освещении пленки в полосе собственного поглощения происходит генерация электронно-дырочных пар, которые пространственно разделяются потенциальным барьером ГК. Фотодырки захватываются ПС, понижая высоту барьера. Фотоэлектроны скапливаются у подножий барьеров, которые препятствуют их захвату на ПС и рекомбинации. Возникает стационарная фотопроводимость. Если для простоты будем считать кристаллиты одинаковыми по геометрическим размерам, уровню легирования, концентрации и энергии ПС, изменения в пленке при освещении должны быть одинаковыми на всех ГК и симметричными относительно ГК, что и отображено на рис. 1, c. В такой системе при нормальном освещении возникновение эффекта АФН исключено.

Прежде чем приступить к обсуждению эффекта АФН, остановимся на вопросе соответствия модели на рис. 1 реальным поликристаллическим объектам. Известно, что пленки, обладающие АФН, обычно получают термовакuumной конденсацией вещества на диэлектрических подложках (например, на стекле). Такие пленки непрерывно растут в направлении молекулярного пучка

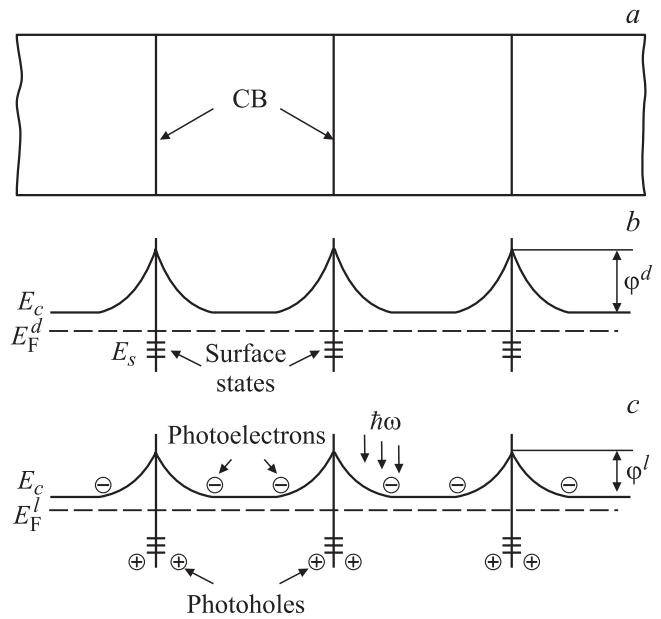


Рис. 1. Модель поликристаллической пленки (а), искривление зоны проводимости E_c в темноте (b) и при нормальном падении луча света (c). ϕ^d и ϕ^l — высоты потенциального барьера у границы кристаллита (СВ) в темноте и при освещении соответственно. E_F^d , E_F^l — квазиуровень Ферми в темноте и при освещении. $\phi^d > \phi^l$, $E_F^d > E_F^l$.

и имеют столбчатую структуру. Изменение направления молекулярного пучка, например, путем изменения положения подложки — напылением на подложки, плоскость которых не перпендикулярна молекулярному пучку (косое напыление), — ведет к точно такому же изменению направления непрерывного роста пленок [15]. Ввиду чрезвычайной важности именно особенностей роста пленок для обоснования развиваемых в дальнейшем рассуждений на рис. 2 приведены электронно-микроскопические снимки, иллюстрирующие рост пленок в направлении молекулярного пучка (аналогичные иллюстрации существуют для пленок других полупроводников и металлов [19,20]).

Сказанное выше и данные рис. 2 свидетельствуют, что плоскость ГК при термовакuumной конденсации пленок ориентирована в направлении молекулярного пучка (более того, то же самое может происходить при получении пленок химическим осаждением из раствора — например, сверхпроводящие керамики имеют точно такую же структуру [21]). Столбообразный рост поликристаллических пленок легко понять, если принять во внимание тот факт, что формирование структуры пленок всегда происходит под жестким требованием минимальности свободной энергии. В данном случае это соответствует стремлению структуры в процессе роста иметь либо минимальную общую поверхность всех кристаллитов, либо, что, по-видимому, точнее, кристаллит ограничивает себя плоскостями с наименьшей поверхностной энергией,

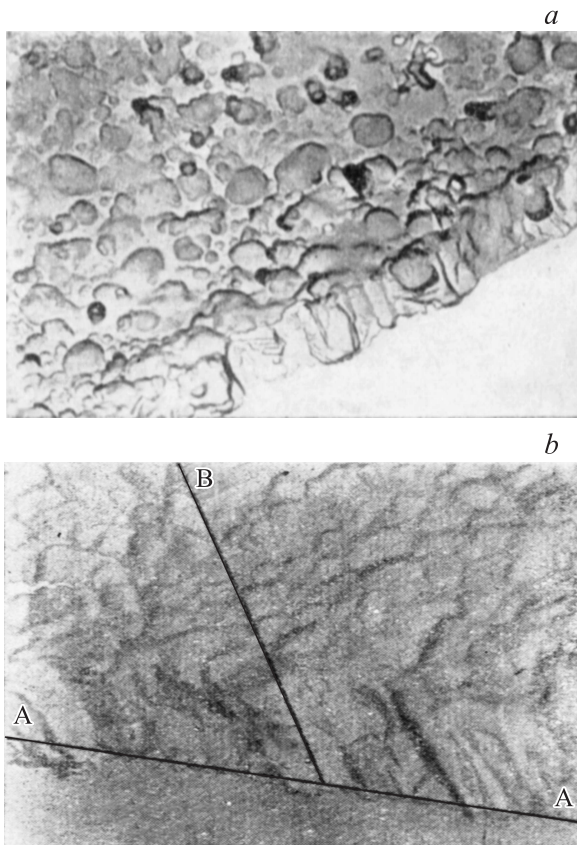


Рис. 2. Общий вид поверхности и края слоя PbS, полученного испарением в вакууме на стеклянную подложку (а), и зависимость наклона зерен PbS от направления молекулярного пучка (b). В — направление молекулярного пучка, AA — поверхность подложки [15].

так что сумма произведений площадей поверхности на их поверхностную энергию оказывается минимальной.

Второй момент, требующий разъяснений — это природа ГК. Обычно в поликристаллических пленках ГК представляют собой совокупность дислокаций (дислокационная стенка или дислокационная сетка), которые образуются из-за разориентации соседних кристаллитов. Чем больший угол образуют между собой кристаллиты, тем меньшим должно быть расстояние между дислокациями. Это означает, что одним рядом дислокаций может быть образована ГК, которая разделяет кристаллиты, повернутые на угол не более нескольких градусов (что обычно и имеет место в поликристаллических пленках, растущих на ориентирующих подложках [20]). При большом угле взаимного поворота кристаллитов (например, при росте пленок на аморфных подложках) дислокации на ГК, сблизившись, практически сливаются и теряют индивидуальность. Здесь, по-видимому, можно говорить об индивидуальности поверхности каждого кристаллита, образующего ГК, о чем свидетельствуют высокая адсорбционная активность ГК, релаксационные явления на ГК, обуславливающие пики внутреннего

трения и затухания ультразвука в поликристаллах [22], оптическая анизотропия металлических пленок [23].

Экспериментально подтверждено, что поверхность каждого кристаллита на ГК является „шероховатой“ [24,25]. Это так называемый рельеф „естественной шероховатости“, который также обусловлен требованием минимальности свободной энергии. Шероховатости могут быть и причиной возникновения на ГК ПС [26].

Коль скоро в рассмотрение вводится понятие индивидуальности поверхности кристаллита на ГК, в оптических явлениях мы должны учитывать особенности прохождения света через ГК, в частности, ее отражательную способность. Шероховатости ГК могут быть причиной, влияющей на отражательную способность. Сказанное проиллюстрировано рис. 3.

Основной результат, следующий из рис. 3, — это неоднородность в поглощении света объемом пленки, которую вносит ГК из-за отражения на ней падающего света. Симметрия, которая имеет место при нормальном падении светового пучка, нарушается при освещении под углом к поверхности, что ведет к образованию областей преимущественного поглощения света и тени. Это является одной из естественных причин возникновения в таких структурах АФН. Луч, проникающий в область тени через ГК, имеет интенсивность ниже интенсивности первичного луча, прошедшего в пленку.

Справедливости ради здесь необходимо отметить, что подобный взгляд на природу эффекта был впервые высказан автором [13] при объяснении эффекта в пленках PbS. В работе [13] предполагается, что на ГК происходит добавочное ослабление светового потока, связанное с частичным отражением света на контакте с окисной пленкой, образованной при активирующей обработке пленок в кислородосодержащей среде, имеющей меньший показатель преломления. Однако при обработке пленок PbS, полученных термо-вакуумной конденсацией,

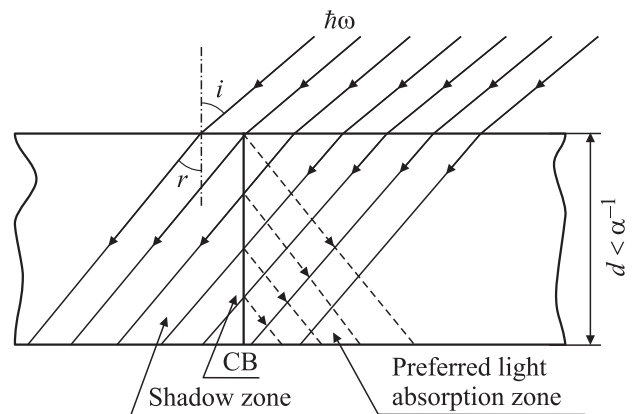


Рис. 3. Поглощение плоскопараллельного пучка света, падающего под углом i к пленке, полученной в условиях падения молекулярного пучка перпендикулярно плоскости подложки. r — угол преломления, d — толщина пленки, α — коэффициент поглощения света. Считается, что коэффициент преломления на границе кристаллита (CB) не претерпевает изменений.

в окисляющей среде возникновение окисных слоев на ГК проблематично. Там скорее всего возникают ПС адсорбирующегося кислорода [15,20]. Более того, требование возникновения на ГК дополнительного слоя с меньшим показателем преломления совсем не обязательно.

Таким образом, именно асимметрия в освещении ГК вызывает возникновение АФН. Об оптической анизотропии полупроводниковых пленок, полученных при наклонном падении молекулярного пучка, сообщалось в работе [27].

Определившись с моделью, наиболее близко, на наш взгляд, соответствующей структуре и электронным свойствам реальных поликристаллов, перейдем к идентификации механизма эффекта АФН.

3. Механизм эффекта

При образовании потенциального барьера на ГК за счет захвата основных носителей заряда на ПС реализуются три ситуации.

1) Высота потенциального барьера на ГК такова, что изгиб зон — истожающий, т.е. ГК представляет собой структуру $n^+ - n - n^+$ ($p^+ - p - p^+$). Токперенос осуществляется основными носителями заряда; а рамках болцмановской статистики этот механизм — надбарьерный.

2) Энергия ПС такова, что вблизи вершины потенциального барьера образуется канал с проводимостью, инверсной типу проводимости кристаллитов. Например, для возникновения инверсионного изгиба зон на ГК при захвате электронов из объема кристаллитов n -типа на ПС необходимо, чтобы высота потенциального барьера ϕ удовлетворяла условию

$$\phi > \frac{E_g}{2} + kT \ln \frac{m_{dp}}{m_{dn}} + E_F, \tag{1}$$

где m_{dp} и m_{dn} — эффективные массы плотности состояний в зонах дырок и электронов, E_F — энергия Ферми, T — температура, k — постоянная Больцмана. Здесь, как и в предыдущей ситуации, ток протекает за счет надбарьерного переноса основных носителей заряда.

3) Условие (1) настолько сильное ($\phi \gg kT$), что потенциальный барьер „запирает“ основные носители в кристаллах и токперенос осуществляется вдоль инверсионных каналов носителями заряда, противоположными по знаку носителям в кристаллитах.

Более подробно рассматриваемые ситуации изучены в [16–18,20]. Как мы покажем далее, каждой ситуации соответствует своя особенность при возникновении эффекта АФН.

Пусть изгиб зон на ГК — истожающий. Рассмотрим, как нарушение симметрии при угловом освещении меняет потенциальный рельеф структуры, изображенной на рис. 1. Возникающая при таком освещении картина отображена на рис. 4. Как и в случае, соответствующем рис. 1, в освещенной области пленки рождаемые светом

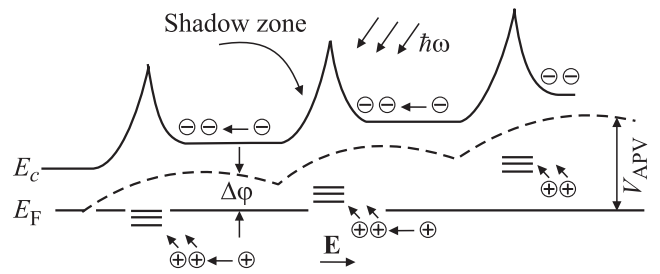


Рис. 4. Искривление зоны проводимости при падении на пленку плоскопараллельного пучка света под углом к поверхности. E_F — неравновесный уровень Ферми, задающий концентрацию носителей заряда вдоль пленки.

электронно-дырочные пары будут пространственно разделяться потенциальными барьерами. Фотодырки будут захватываться на ПС, а фотоэлектроны собираться у подножия барьера. Только в этом случае фотоэлектроны собираются не симметрично на противоположных сторонах кристаллита, а в основном у барьера, примыкающего к области преимущественного поглощения света. На рис. 4 это отображено криволинейным ходом неравновесного уровня Ферми в квазинейтральных областях кристаллитов.

Из модели следует, что более освещенная сторона барьера содержит больший отрицательный заряд по сравнению с теневой. В области барьера возникает электрическое поле E , направленное из области тени в освещенную область, т.е. при освещении генерируется фотоэдс $\Delta\phi = e l E$ (l — эффективная толщина барьера). Такой процесс имеет место на каждой ГК.

Если электрические контакты к пленке расположены на ее противоположных концах, то в связи с тем, что в рамках рассматриваемой модели вдоль линий тока все барьеры включены в цепь последовательно [16,17,20], суммарная фотоэдс, генерируемая в пленке, равна

$$V_{APV} = N \Delta\phi, \tag{2}$$

где N — число последовательно включенных в цепь кристаллитов.

Таким образом, не прибегая к каким-либо искусственно вводимым предположениям, исходя из реальной структуры пленок, можно легко объяснить природу эффекта. Достоверность полученных результатов следует из того, что эффект АФН объяснен в рамках той же модели [16–18], в которую укладываются эффект Холла и другие явления в поликристаллических пленках полупроводников.

Согласно представлениям, развитым в настоящей работе, при изменении угла освещения должна, во-первых, изменяться амплитуда эффекта, во-вторых должна наблюдаться инверсия его знака. Изменение амплитуды связано с изменением геометрических размеров областей преимущественного поглощения света относительно направления молекулярного пучка при получении

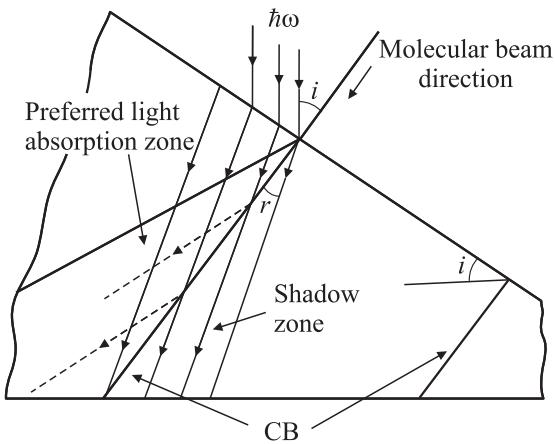


Рис. 5. Образование области тени при нормальном относительно плоскости подложки освещении косонаправленной пленки. Обозначения те же, что на рис. 3.

пленки. Дело в том, что, когда направления светового потока и плоскости ГК совпадают, эффект отсутствует, т. е. $\Delta\varphi = 0$, а слева и справа от плоскости ГК $|\Delta\varphi|$ тем больше, чем сильнее различаются по размеру области преимущественного поглощения света и тени (рис. 3). Когда направление пучка света переходит через направление молекулярного пучка, области преимущественного поглощения света и тени меняются местами. Именно так объяснялась инверсия знака АФН в пленках PbS в работе [13].

В соотношении (2) величина N задается технологией приготовления пленок (дисперсность по средним размерам кристаллитов). Параметр $\Delta\varphi$ зависит от свойств полупроводниковой подложки для пленок (ширина запрещенной зоны, уровень легирования, диэлектрическая проницаемость, коэффициенты поглощения и преломления света и т.д.) и электронных параметров ПС на ГК (энергия, концентрация и сечения захвата носителей и т.д.). Они в свою очередь зависят от температуры. В результате $\Delta\varphi$ зависит от интенсивности падающего света и температуры. Таким образом, модель не содержит ни одного искусственно вводимого параметра.

Рассмотренные выше закономерности распространяются и на косонапыленные пленки. На рис. 5 показано распространение поглощенного света вблизи ГК таких пленок.

Если, не меняя направления светового пучка, пленку повернуть тыльной стороной, из соображений симметрии ясно, что закономерности в знаке эффекта не изменятся; амплитуда эффекта уменьшится из-за поглощения света в подложке (естественно, подложка должна быть прозрачной).

В случае, когда изгиб зон инверсионный, но при этом в целом проводимость обусловлена надбарьерным прохождением электронов, ситуация в корне меняется. Для пленки, полученной при нормальном падении молекулярного пучка, эффект АФН наблюдаться не будет

даже при падении плоскопараллельного пучка света под углом к пленке. В этом случае существование у ГК областей преимущественного поглощения света и тени не принципиально, так как вблизи ГК (под вершиной барьера) образуется инверсная область, где проводимость дырочная, а дырки самой ГК не разделяются в связи с отсутствием для них барьера. Для возникновения эффекта АФН в таких объектах необходимо создать условия для оттока неравновесных дырок из инверсионной области в каком-либо преимущественном направлении. Именно это преимущественное направление и создает технология косоного напыления. При таком способе получения два соседних кристаллита (в направлении проявления эффекта) имеют разную среднюю толщину: в частях пленки, которые при ее росте расположены ближе к испарителю, она больше (см. рис. 5). Следовательно, число фотодырок, генерируемых по разные стороны от ГК, различно, а это обеспечивает преимущественный отток дырок в более тонкую часть пленки, независимо от того, с какой стороны барьера производится освещение. Этим и объясняется отсутствие инверсии знака эффекта в рассматриваемом случае. Ситуация проиллюстрирована рис. 6.

При условиях, когда обеспечивается третья ситуация, механизм вновь становится таким же, как в первом случае. Из-за того, что проводящие каналы монополярны, на ГК образуются переходы, только в этом случае они типа $p-p^+-p$ ($n-n^+-n$), так как в силу специфики потенциального рельефа поликристаллов область вблизи ГК в канале более низкоомна, чем канал [16–18,20]. Фотозэлектроны в кристаллитах „уходят“ из области тени в области преимущественного поглощения света, увлекая с собой „свою“ фотодырку, и в канале возникает фотоэдс. В этом случае также будет наблюдаться

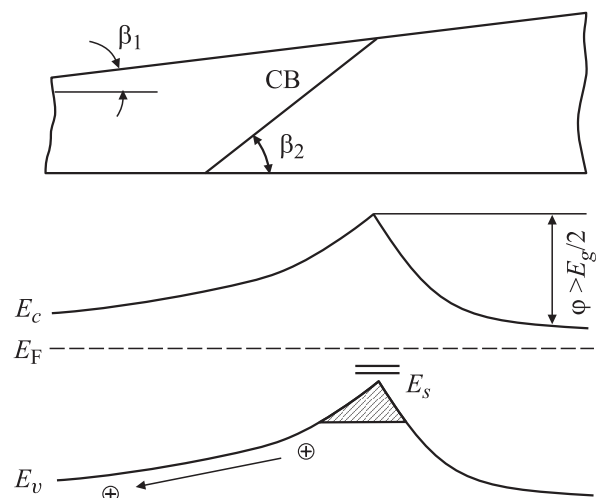


Рис. 6. Искривление зон при инверсии типа проводимости вблизи ГК. Заштрихованная область — инверсионный канал. Стрелкой показано перемещение дырок при освещении. Здесь учтено, что в общем случае углы β_1 и β_2 различны.

инверсия знака эффекта АФН при переходе направления освещения через плоскость ГК.

Таким образом, в первой и третьей ситуации эффект формирует диффузия основных носителей заряда, а во второй — диффузия неосновных носителей.

Нетрудно понять, что в рамках предложенной модели объясняется и аномальный фотомагнитный эффект [3,4], который также обсуждается на протяжении многих лет.

Один из авторов считает своим приятным долгом выразить признательность А.Я. Шику за многолетние обсуждения природы физических явлений в неоднородных полупроводниках.

Список литературы

- [1] T. Starkievich, L. Sosnowski, O. Simpson. *Nature*, **158**, 26 (1946).
- [2] L. Pensak, B. Goldstein. *Phys. Rev.*, **109**, 601 (1958).
- [3] Э.И. Адирович. *УФН*, **105**, 746 (1971).
- [4] Э.И. Адирович и др. В сб.: *Фотоэлектрические явления в полупроводниках и оптоэлектроника* (Ташкент, Изд-во ФАН, 1972).
- [5] L. Pankove. *Phys. Status Solidi A*, **61**, 127 (1980).
- [6] Г.А. Набиев. *ФТП*, **43**, 926 (2009).
- [7] В.Н. Агарев, Н.А. Степанова. *ФТП*, **34**, 452 (2000).
- [8] К.М. Дошанов. *ФТП*, **24**, 1251 (1990).
- [9] К.М. Дошанов, В.Д. Соколов. *ФТП*, **24**, 1407 (1990).
- [10] H. Kallman, B. Kramer, E. Naidemenakis, W.I. McAller, H. Barkemayer, P.E. Pollak. *J. Electrochem. Soc.*, **108**, 247 (1961).
- [11] Ф.Т. Новик. *ФТТ*, **4**, 3334 (1962).
- [12] V.G. Schwabe. *Z. Naturforsch.*, **10a**, 78 (1955).
- [13] В.Н. Овсяк. *ФТП*, **2**, 1185 (1968).
- [14] П.П. Коноров, К. Любитц, И. Ортлер. *Уч. записки ЛГУ*, 336, 98 (1968).
- [15] Р.Я. Берлага, Т.Т. Быкова и др. *Уч. записки ЛГУ*, 336, 92 (1968).
- [16] Sh.B. Atakulov. *Sol. St. Commun.*, **51**, 415 (1984).
- [17] Ш.Б. Атакулов. *ФТП*, **18**, 1862 (1984).
- [18] Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов. *ФТП*, **20**, 59 (1986); *ФТП*, **20**, 66 (1986).
- [19] Л. Казмерски. В кн.: *Тонкие поликристаллические и аморфные пленки* (М., Мир, 1983) с. 67.
- [20] Ш.Б. Атакулов, И.М. Коканбаев. *Термические и радиационно-стимулированные процессы в поликристаллических пленках халькогенидов свинца* (Ташкент, Изд-во ФАН, 1992).
- [21] Е.З. Мейлихов. *УФН*, **163**, 27 (1993).
- [22] А.Н. Орлов. В сб.: *Атомная структура межзеренных границ* (М., Мир, 1978) с. 5.
- [23] E.F. Poczta. *Acta Phys. Acad. Sci. Hung.*, **15**, 89 (1968).
- [24] Я.Е. Гегузин. *Очерки о диффузии в кристаллах* (М., Наука, 1970).
- [25] Д.С. Кемпбелл. В кн.: *Технология тонких пленок* (М., Радио, 1977) с. 461.
- [26] В.А. Погребняк, В.М. Яковенко, И.В. Яковенко. *ФТТ*, **39**, 1975 (1995).
- [27] Н.К. Бородкина, Л.П. Страхов. *ФТТ*, **8**, 2260 (1966).

Редактор Л.В. Шаронова

Influence of the structure singularities of semiconductor polycrystalline films on the formation an anomalous photo-voltage effect.

I. The mechanism of phenomena

Sh.B. Atakulov, S.M. Zaynolbidinoiva, G.A. Nabiyev*, O.A. Tuhtamatov

Ferghana State University,
150100 Ferghana, Uzbekistan

* Ferghana Polytechnical Institute,
150107 Ferghana, Uzbekistan

Abstract The model of a polycrystal semiconductor appropriate to its real structure is suggested and on its basis the mechanism of anomalous photovoltaic effects (occurrence of the anomalous photovoltage, its dependence on the angle of illumination, the anomalous photomagnetic effect) is developed. It is considered that potential barriers causing an inhomogeneity of the photocarriers space distribution are formed by capture of majority carriers into surface states on crystallite boundaries. The effect depends significantly on barrier amplitude: if band bending at a crystallite boundary is exhausted, it is determined by space separation of majority photocarriers by barriers, otherwise (band bending inversion) effect is formed by separation minority photocarriers. The basis for the mechanism is anisotropy of light absorption in a polycrystal bulk (exhausted zone bending) or geometrical inhomogeneity produced by ablique deposition of films (inversed zone bending). The course of anisotropy absorption is the light reflection on crystallite boundaries.