

Особенности аномальной температурной зависимости темнового тока полупроводниковых слоев селенида кадмия

На основании экспериментальных результатов по измерению температурной зависимости темнового тока (ТЗТТ) на полупроводниковых слоях CdSe и стеклянной подложке и зависимости давления в камере от температуры рассмотрен механизм влияния адсорбционных процессов на поверхностях полупроводника селенида кадмия и стеклянной подложки на их ТЗТТ.

Изучение особенностей аномальной температурной зависимости темнового тока (АТЗТТ) слоев CdSe и ТЗТТ стеклянных подложек после отжига в вакууме при 523 К показало, что АТЗТТ полупроводниковых слоев селенида кадмия вызвана собственными центрами захвата, обусловленными структурными свойствами поликристаллической пленки.

В отдельных случаях при интерпретации пиков термостимулированной проводимости возникают трудности, связанные с тем, что некоторые из них обусловлены адсорбционно-десорбционными про-

цессами на поверхности полупроводниковых пленок [1]. Если хемосорбированный газ на поверхности полупроводника проявляет донорные свойства, то есть отдает электроны в зону проводимости [2] и при нагревании десорбируется, то на температурной зависимости темнового тока могут наблюдаться участки его уменьшения, обусловленные снижением концентрации доноров.

Аномальная температурная зависимость темнового тока, проявляющаяся в уменьшении тока с ростом температуры, наблюдалась на пленках селенида кадмия и других материалов [3,4], но в настоящее время еще не установлен единый механизм ее возникновения. В связи с тем, что явление АТЗТТ представляется перспективным для использования в микроэлектронных переключателях, особенно важно установить, обусловлено ли оно свойствами полупроводникового материала или связано с адсорбционно-десорбционным взаимодействием его поверхности с компонентами газовой атмосферы. Действительно, в области температур, где при измерениях в высоком вакууме (10^{-3} Па) у пленок селенида кадмия, полученных в квазизамкнутом объеме конденсацией на стеклянные подложки, наблюдалась АТЗТТ (рис.1, кривая 1), на кривой $p =$

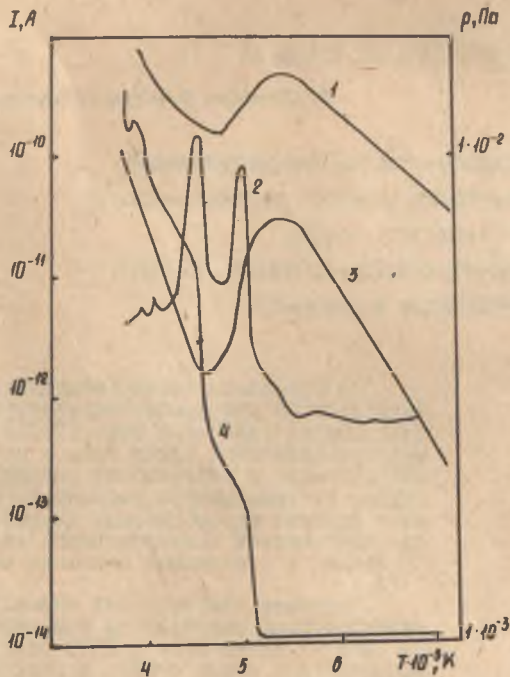


Рис.1. Температурные зависимости темнового тока $I_T = I_T(T)$ полупроводниковых слоев селенида кадмия: 1 - в исходном состоянии, 3 - после вакуумного отжига при 423 К, 4 - после вакуумного отжига при 523 К и давления $p = p(T)$ остаточной атмосферы в измерительной камере: 2 - в исходном состоянии и после выдержки на воздухе предварительно отожженных в вакууме при 523 К слоев CdSe. Зависимости $I_T = I_T(T)$ и $p = p(T)$ регистрировались одновременно. Все измерения проведены при нагреве

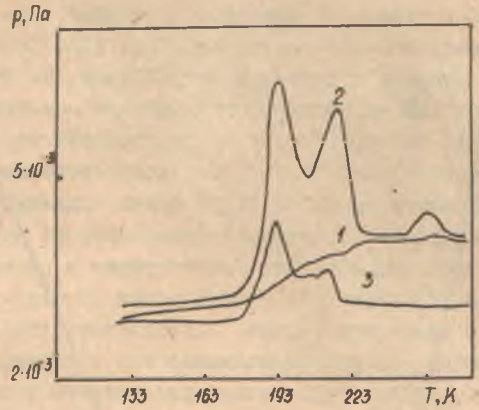


Рис.2. Температурные зависимости давления остаточной атмосферы в измерительной камере. Для исходного состояния: 1 - измерения при нагреве, 2 - при охлаждении. Для состояния после вакуумного отжига: 3 - измерения при нагреве

$= p(T)$ проявлялись два максимума давления остаточной атмосферы в измерительной камере (рис.1, кривая 2). Кроме того, особенности температурной зависимости темнового тока могут определяться и влиянием подложки. Результаты, представленные в настоящей работе, позволяют разделить влияние адсорбционных процессов подложки и свойств полупроводникового материала на форму температурной зависимости темнового тока пленки селенида кадмия.

При охлаждении от 273 К чистой стеклянной

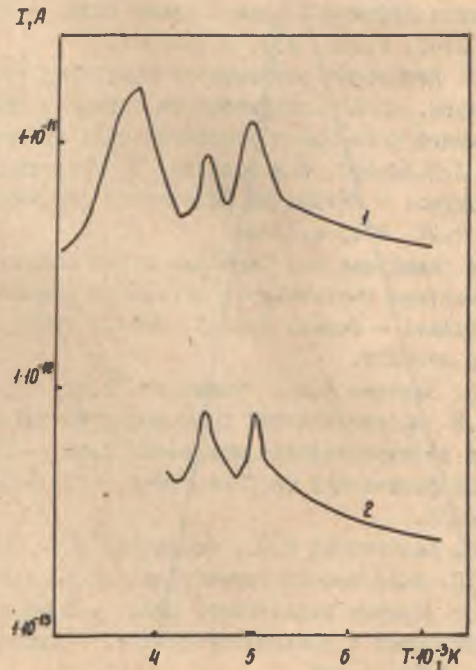


Рис.3. Температурные зависимости темнового тока, измеренные на стеклянной подложке: 1 - в исходном состоянии, 2 - после вакуумного отжига. Регистрация велась при нагреве

подложки, находящейся в исходном состоянии при $p = 3 \cdot 10^{-3}$ Па наблюдается уменьшение давления в измерительной вакуумной камере в результате адсорбции нескольких компонентов остаточной атмосферы (рис.2, кривая 1). Вымораживание наиболее тяжелого компонента начинается уже при температуре 258 К, а более летучих – при 228 и 208 К соответственно. Последующее нагревание подложки от 113 К сопровождается увеличением давления, на кривой зависимости которого от температуры наблюдаются три максимума (рис.2, кривая 2), обусловленные десорбцией ранее адсорбированных газов. Температурные зависимости тока стеклянной подложки, измеренные при нагреве, повторяют ход зависимости $p = p(T)$ (рис.3, кривая 1). Если предположить, что молекулы, адсорбирующиеся на стеклянной подложке, проявляют себя как доноры, то при охлаждении, приводящем к их адсорбции, увеличение числа доноров будет способствовать росту тока, который происходит до температуры, достаточной для освобождения электронов адсорбированных частиц в зону проводимости. При более низкой температуре электроны из зоны проводимости возвращаются на уровни адсорбированных доноров и ток уменьшается. Нагрев подложки с адсорбированным слоем газа вызывает первоначально рост тока, обусловленный освобождением электронов с доноров, сменяющийся затем спадом, связанным с десорбцией донорных молекул.

Аналогичные процессы протекают и при более высоком (10^0 Па) начальном давлении, однако исходные уровни зависимостей $p = p(T)$ и $I = I(T)$ отличны от приведенных на рис.2.

Увеличение исходного разрежения от 10^0 до 10^{-3} Па, так же, как и высокотемпературный отжиг в вакууме, приводит к резкому уменьшению давления в высоты максимумов на кривых $p = p(T)$ и $I = I(T)$ (рис.2, кривая 3 и рис.3, кривая 2). Таким образом, становится очевидным, что особенности температурных зависимостей тока стеклянной подложки обусловлены адсорбцией газовых частиц, которые проявляют себя как доноры.

Сопоставляя температурные зависимости темнового тока подложки и полупроводникового слоя CdSe, измеренные после вакуумного отжига ($T = 433$ К), отметим, что амплитуда уменьшения тока на кривой АТЗТТ увеличивается (рис.1, кривая 3), а ток и величина его максимумов в случае подложки уменьшаются (см. рис.3, кривая 2). Поскольку при обезгаживании происходит удаление молекул газа с поверхности как стекла, так и полупроводниковой пленки, то в случае слоя CdSe явление АТЗТТ должно ослабляться. Это противоречит экспериментально наблюдаемому усилению АТЗТТ. Поэтому следует заключить, что АТЗТТ обусловлено собственными структурными преобразованиями, происходящими в поликристаллическом

слое при отжиге в вакууме [5], которые приводят к формированию центров захвата в запрещенной зоне CdSe [6]. Отжиг в вакууме при температуре 523 К значительно ослабляет описанные особенности зависимостей $p = p(T)$ и $I = I(T)$ как при измерениях на стекле, так и на полупроводнике. Однако последующая выдержка на воздухе при комнатной температуре полностью восстанавливает их в случае стеклянной подложки, в то время как при измерениях на слое CdSe восстанавливается только зависимость $p = p(T)$ (см. рис.1, кривая 2). Это свидетельствует о том, что вклад в электропроводность пленок CdSe сорбционной составляющей тока значителен в силу различий в адсорбционной способности аморфной и кристаллической поверхностей.

Пленки CdSe в исходном состоянии состоят из кристаллитов кубической и гексагональной модификаций, разделенных межфазным потенциальным барьером высотой 0,13 эВ. Структурные преобразования при отжиге сопровождались переходом кубической модификации в гексагональную и не приводили к увеличению адсорбционной способности пленки.

На границе двух фаз концентрации собственных дефектов вакансий селена ($E_d = 0,14$ эВ) и компенсирующих их акцепторов ($E_a = 1,5$ эВ) повышены по сравнению с объемом кристаллитов. Об этом свидетельствует изменение величины межфазного барьера до 0,056 эВ в процессе вакуумного отжига при одновременном уменьшении концентрации указанных центров. Понижение электропроводности слоя в результате отжига (рис.1, кривая 4) происходит из-за уменьшения количества доноров вакансий Se в решетке CdSe [7].

Таким образом, фазовая неоднородность структуры полупроводникового слоя, состоящего из кристаллитов кубической и гексагональной модификаций, обуславливает спектр собственных центров захвата [8–10] в запрещенной зоне, локализация электронов на которых и приводит к АТЗТТ.

ВЫВОДЫ

Независимые исследования температурной зависимости темнового тока систем аморфная подложка – полупроводниковый слой CdSe – остаточная газовая среда и стеклянная подложка – остаточная газовая среда и одновременные измерения изменений давления остаточной атмосферы в измерительной камере показали, что в случае стеклянной подложки особенности зависимости $I = I(T)$ обусловлены адсорбционно-десорбционными явлениями на ее поверхности, в то время как аномальная температурная зависимость темнового тока системы подложка – полупроводниковый слой CdSe – остаточная газовая среда определяется электро-

физическими свойствами поликристаллической пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович И.А., Гасанбеков Г.М. Ионная термостимулированная проводимость на поверхности диэлектриков и полупроводников. - ФТП, 1971, т.13, № 12, с.3713-3714.
2. Киселев В.Ф., Крылов О.В. Электронные явления в адсорбции и катализе на полупроводниках и диэлектриках. - М.: Наука, 1979. - 234 с.
3. Константинова Е., Кынев С. К особенностям температурной зависимости проводимости CaS с донорными и акцепторными примесями. - ФТП, 1973, т.7, № 6, с.1033-1037.
4. Гриневич В.С., Игнатов А.В., Сердюк В.В. Стимулирование аномальной температурной зависимости темнового тока в поликристаллических слоях сульфида кадмия. - Изв. вузов. Сер. Физика, 1979, т.12, с.78-79.
5. Гриневич В.С., Полищук В.Е. Влияние условий осаждения и термообработки слоев селенида кадмия на их кристаллическую структуру. Деп. в ВИНТИ, № 2304-80.
6. Гриневич В.С., Сердюк В.В., Смынтына В.А. Аномальная температурная зависимость $I_T = I_T(T)$ и эффект переключения в слоях соединений $\text{CaS}_x\text{Se}_{1-x}$. - Тезисы докл. IV Респ. конф. "Физика и технология тонких пленок сложных полупроводников". - Ужгород, 1981, с.125.
7. Янушкевичус З.-Р.В. Электрические и фотоэлектрические свойства дефектов в высокоомных кристаллах селенида кадмия: Автореф. канд. дисс. - Вильнюс, 1974. - 48 с.
8. Винецкий В.Л., Шейнкман М.К., Ясковец И.И. О природе аномальной температурной зависимости темновой проводимости полупроводников. - ФТП, 1976, т.10, № 8, с.1535-1539.
9. Панов В.П., Полежаев И.И., Сизова Г.Д. Температурная зависимость проводимости пленок CaS , обладающих свойством остаточной проводимости. - ФТП, 1976, т.10, № 10, с.2011-2013.
10. Вуль А.Я., Набиев Ш.И., Шик А.Я. О температурной зависимости удельного сопротивления в неоднородных полупроводниках. - ФТП, 1977, т.11, № 3, с.506-510.

Статья поступила с доработки
1 апреля 1982 года.