

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЛОЯХ СЕЛЕНИДА КАДМИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СТРУКТУРНЫМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ. ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

В. С. Гриневич

Одесский госуниверситет им. И. И. Мечникова

Анализируются физические условия функционирования чувствительного элемента для регистрации упругих напряжений в микрообъеме микроэлектронной системы. В качестве чувствительного элемента используется полупроводниковая поликристаллическая пленка, содержащая кристаллиты двух структурных модификаций $CdSe(a + P)$. На границах раздела кристаллитов упомянутых фаз а и р возникают значительные механические напряжения. Результаты этих процессов могут быть зарегистрированы электрически в виде резкого изменения темнового тока в контуре, содержащем чувствительный элемент.

Введение

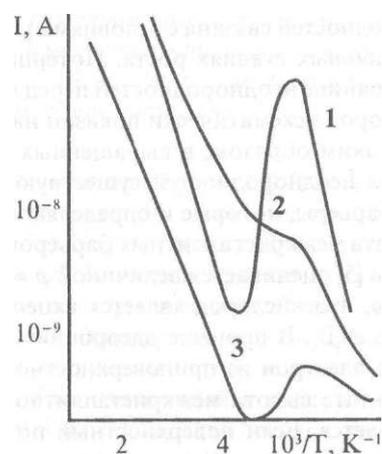
В современной твердотельной микроэлектронике существует перспективная тенденция, связанная с конструированием датчиков упругих деформаций на базе поликристаллических полупроводниковых слоев. Хорошо известно, что поликристаллические слои содержат те же структурные модификации, что и их монокристаллические аналоги, где кристаллиты могут изменять свой структурный тип при определенных условиях. В нашем случае структурные превращения имеют место под действием нескольких внешних воздействий, например, нагрев, охлаждение и под действием зависящих от них упругих напряжений. Они оказывают влияние на электронные свойства слоев и могут быть электрически зарегистрированы. Одним из мало изученных явлений, вызванном структурными превращениями в поликристаллических слоях селенида кадмия является Аномальная Температурная Зависимость Равновесной проводимости (АТЗРП), [1]. Главной особенностью АТЗРП является резкое изменение тока, 1-2 порядка величины, в узком температурном интервале (150-200) К.

Предлагается в данной работе это резкое изменение тока положить в основу работы сенсора регистрации упругих деформаций. Как было установлено, эти деформации определяют основные особенности тока слоев и после анализа всех экспериментальных результатов было получено:

1. АТЗРП локализуется в объеме пленки; 2. Физическая модель явления. Кроме этого было сделано заключение о возможности использования систем, где может быть инициирована АТЗРП как чувствительных элементов упругих напряжений.

2. Экспериментальные результаты и обсуждение

В настоящей работе в качестве исследуемой системы использовались поликристаллические слои $CdSe$, содержащие кристаллиты двух структурных модификаций аи(3 $CdSe$. Эти слои осаждались в высоком вакууме, используя метод «квализамкнутого объема» на стеклянные подложки, снабженные прозрачными полосками SnO_2 , выполнявших роль омических контактов. Структура слоев контролировалась методами рентгеноструктурного анализа. Как можно заметить на Рис.1 максималь-



ные. 1. Температурная зависимость равновесной проводимости в поликристаллических слоях $CdSe$. / — исходное структурное состояние слоев (свежеприготовленный образец) — $(a + P)CdSe$
2,3 — структурные состояния с убывающим количеством кристаллитов р-модификации, а- $CdSe$

ное проявление явления АТЗРП происходит, когда слой содержит значительное количество кристаллитов а и р *CdSe* и исчезает в монофазных слоях. Для определения части структуры, в которой развивается явление, были предприняты исследования в температурном интервале (150-200) К, типичном для этого явления.

Методами рентгеноструктурного анализа было установлено, что после нескольких циклов охлаждения-нагрева слоев появляются и аккумулируются дефекты на границах раздела кристаллитов, а также происходит изменение межплоскостных расстояний в элементарной решетке. Эти процессы обычно происходят под действием циклических напряжений [2,3]. Измерения вольтамперных характеристик дает возможность установить существование квадратичной зависимости тока, ограниченного пространственным зарядом,

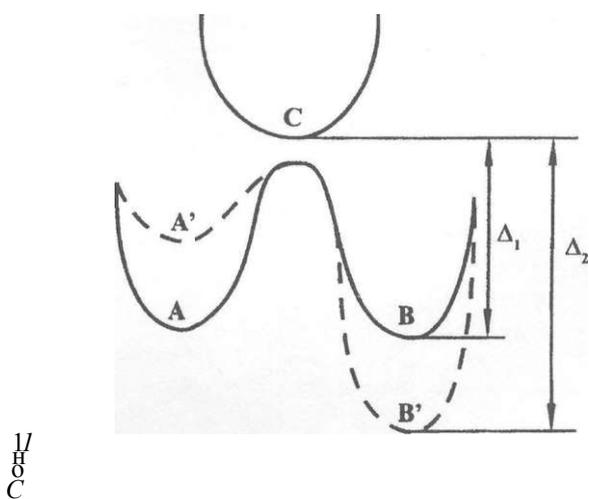
$$j \sim \exp(-E_f/k T)U^2$$

Анализ этой зависимости свидетельствует о наличии доноров с глубиной залегания 0,4 эВ в области межзеренных границ (МЗГ). Эта ситуация типична для барьерной структуры пленки. Важно отметить, что квадратичная зависимость тока на вольтамперных характеристиках была зарегистрирована только для двухфазных слоев в температурном интервале (150-200) К. Для монофазных, а *CdSe* слоев вольтамперные характеристики тривиально линейны во всем температурном интервале исследований. Заключение о наличии барьеров поддерживается измерениями температурной зависимости равновесной проводимости, выполненными при переменном электрическом сигнале в интервале частот ($10-10^6$) Гц. Расчетные величины барьеров $E_b = 0,05-0,1$ эВ, $E_c = 0,14$ эВ. после перехода (а+р) *CdSe* в а *CdSe* высоты барьеров уменьшаются в 2-3 раза.

Принимая во внимание геометрию контактов и самого образца (толщина слоев < 10 мкм, расстояние между контактами — $2 \cdot 10^3$ м, размеры кристаллитов < $1 \cdot 10^6$ м) и величину приложенного электрического поля, можно сделать вывод о том, что барьеры расположены в пространстве межзеренных границ. В фотоэлектрических и фотолюминесцентных исследованиях значительное число дефектов удалось идентифицировать как центры $E_c - 0,4$ эВ. В этих же МЗГ регистрируются значительные механические напряжения (10^{10} Па), которые возникают из-за различия коэффициентов температурного расширения кристаллитов обеих фаз (а+р)0/5с [4]. Анализ всей совокупности результатов дает возможность сделать вывод, что явление АТЗРП локализуется в области МЗГ и сильно зависит от высоты потенциальных барьеров, т.е. центров $E_c - 0,4$ эВ. По результатам Холловских экспериментов было установлено, что за явление АТЗРП ответственна электронная подсистема исследуемого объекта. Таким образом, аномальный

рост и спад электропроводности в температурном интервале (150-200) К, как можно предполагать, обусловлен изменением энергетического положения некоторого донороподобного центра в запрещенной зоне полупроводника. Такое изменение энергетического положения может быть вызвано несколькими причинами: 1. изменением энергии ионизации донороподобного центра $E = 13,52 z^2 / e^2 \cdot m^* / m$ (эВ), [5] из-за наличия зависимости от температуры диэлектрической проницаемости вещества *CdSe* в измеряемом интервале температур $\epsilon = \epsilon(T)$, которая входит в приведенное выражение; 2. возрастанием энергетической глубины донорного центра под действием приложенных механических напряжений в соответствии с зависимостью dE/dP [6], P — давление.

Приведенный анализ этих двух причин показывает, что ни один из них не может быть реализован в поликристаллическом селениде кадмия. С нашей точки зрения наиболее возможным механизмом, обуславливающим изменение тока в указанном интервале является изменение пространственного положения дефектов решетки в межзеренном пространстве. В полупроводнике существуют несколько типов дефектов, которые могут занимать несколько эквивалентных положений в решетке. Изменение их пространственного положения влечет за собой изменения в распределении их заряда. Т.о., изменения зарядовых состояний дефектов обычно сопровождается релаксационными процессами в окружающей области (это следствие изменений равновесных конфигураций атомов). Данная точка зрения иллюстрируется рис.2. Для симметричной конфи-



Конфигурационные координаты, условн. ед.

Рис.2. Изменения энергии ионизации A_c и A_c донороподобного центра, вызванные переходом от симметричной к несимметричной конфигурации атомов в решетке.

гурации атомов энергия ионизации доноров А. Под действием сил упругой природы положения А и В перестают быть эквивалентными и, следовательно, энергия ионизации доноров изменяется. Эта идея поддерживается также результатами экспериментов по термостимулированной проводимости в исследуемых слоях *CdSe* двух структурных типов. Используя различные скорости увеличения температуры слоев, было установлено, что пики лучше «разрешены» при более низких скоростях нагрева, чем при более высоких. Т.к. при нагреве возникают механические напряжения, стимулирующие переходы из состояния 1 в состояние 2, Рис.2, то этот процесс переходов требует определенного времени на свое протекание. После того, как дефект переведен из равновесного положения А в равновесное положение -В, возникает новая конфигурация атомов и электроны забрасываются в зону проводимости уже в соответствии с этой новой конфигурацией. Это и обеспечивает более четкое разрешение пиков на кри-вых ТСП.

Заключение

В поликристаллических слоях селенида кадмия (а+(3) было зарегистрировано явление аномальной температурной зависимости равновесной про-

водимости. В работе утверждается, что причиной АТЗРП является изменение пространственного положения атомов дефектов в межзеренном пространстве, что приводит к возрастанию энергетической глубины залегания центра. Возможность регистрировать электрическими методами данное явление дает возможность использовать систему (а+P)*CdSe* как чувствительный элемент упругих напряжений.

Литература

1. Гриневич В.С., Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук, Одесса, 1990.
2. В.С. Гриневич, В.Е. Полищук, ВИНТИ СССР, Депон. № 2304-80, 1980 г.
3. Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах. Москва, Атомиздат, 1975, — 472 с.
4. Таблицы физических величин, Справочник, под ред. акад. Кикоина И.К.: Атомиздат., 1976.
5. АнСельм А.И., Введение в теорию полупроводников. Москва, Наука, 1985, 311 стр.
6. Chang K.I., Frayen Sverre, Conen L.Marvin «Pressure Coefficients of the Band Gaps in Semiconductors» *Solid St.Communications* —1984, — v.50, — №2. —Р. 105-107.