

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ПОЛУПРОВОДНИК—МЕТАЛЛ В МДП СТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ SmS

Ш. Лани,¹ В. В. Каминский, А. В. Голубков

Моносulfид самария претерпевает изоструктурный фазовый переход первого рода полупроводник—металл при различных механических воздействиях [1]. Наличие такого перехода должно сильно влиять на электрические свойства материала, в частности, в приповерхностном слое в области пространственного заряда под поверхностью. Поэтому методы, используемые для этой области, могут оказаться удобными для исследования фазового перехода в SmS. Одним из таких методов является измерение релаксации емкости после возбуждения исследуемой структуры электрическими импульсами. Целью настоящей работы было обнаружение этим методом фазового перехода полупроводник—металл в моносulfиде самария.

1. Эксперимент

Для проведения экспериментов на монокристаллах SmS были изготовлены МДП (металл—диэлектрик—полупроводник) структуры с применением диэлектрического слоя из Al_2O_3 или полиимида, на которые были напылены алюминиевые контактные площадки площадью 0.34 мм^2 . Слой Al_2O_3 толщиной 50—100 нм были напылены на поверхность. Слой полиимида толщиной 1 мкм осаждался на поверхность монокристалла из раствора полиимидной кислоты в пиролидоне, нанесенного тонким слоем путем центрифугирования, при термообработке в течение 2 ч при температуре $+200 \text{ }^\circ\text{C}$. На противоположной грани кристалла с целью

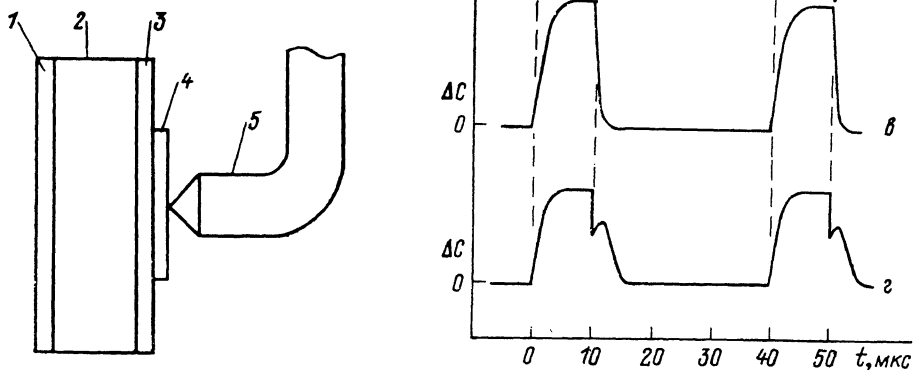


Рис. 1. МДП структура.

1 — индиевый контакт, 2 — монокристалл SmS, 3 — диэлектрический слой, 4 — алюминиевая контактная площадка, 5 — контакт из стальной проволоки.

Рис. 2. Импульсы напряжения, подаваемого на МДП структуру (а), и соответствующие им зависимости выходного напряжения измерителя емкости от времени при различных температурах (б—в).

создания по возможности более омического контакта был нанесен слой индия. Монокристаллы были выколоты по плоскостям спайности $\{100\}$. Для создания механического напряжения применялась стальная проволока, которая своим заточенным острием оказывала давление на поверхность образца в области контактной площадки, одновременно обеспечивая и электрический контакт (рис. 1).

В ходе эксперимента на контакты образца подавались прямоугольные импульсы напряжения (0.25—0.7 В) длительностью t от 2 до 10 мкс с промежутками, равными $3t$ (рис. 2, а). Емкость структуры измерялась измерителем емкости, имеющим время отклика ~ 1 мкс.

¹ Физический институт САН, г. Братислава.

Рабочая частота измерителя была 10 МГц. Для повышения чувствительности метода применялась обработка переходных явлений, используемая в спектроскопии глубоких уровней [2,3]. При этом измерялась разница средних значений емкостей в промежутках времени $t_1=t$ и $t_2=2t$ после окончания импульса возбуждения. Температура образца в процессе измерений постепенно повышалась от 77 до 300 К со скоростью 12 град/с. Емкость образцов со слоем Al_2O_3 при $T=300$ К была ~ 100 пф, со слоем полиимида — около 30 пф.

2. Результаты

На рис. 2 представлены зависимости выходного напряжения измерителя емкости от времени ($b-g$), полученные при различных температурах. При температурах ниже ~ 260 К наблюдались осциллограммы типа b , причем их амплитуда постепенно увеличивалась, время релаксации незначительно понижалось и наблюдалось резкое изменение сигнала после вклю-

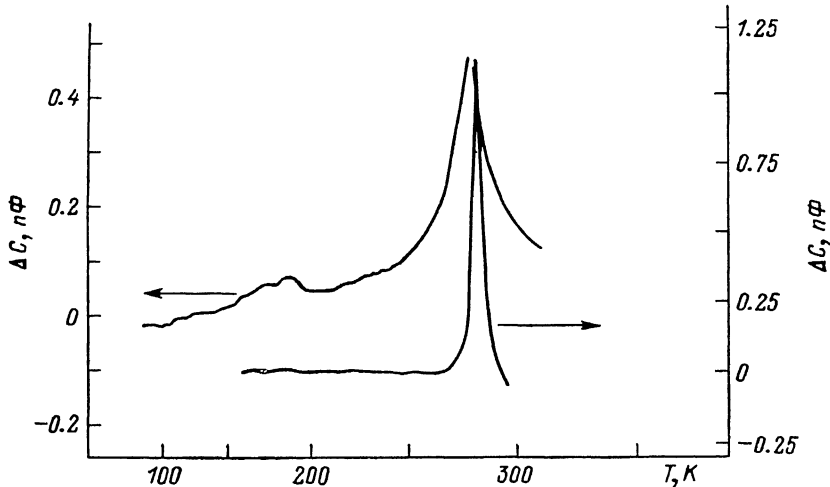


Рис. 3. Температурный спектр величины $\Delta C = C(t_1) - C_1(t_2)$.

Диэлектрический слой из Al_2O_3 , $t=2$ мкс — левая шкала; диэлектрический слой из полиимида, $t=10$ мкс — правая шкала.

чения и выключения импульса. При высоких температурах ($T \sim 300$ К) наблюдались осциллограммы типа e , наиболее характерной особенностью которых является постепенное нарастание и постепенный спад емкости после включения или выключения импульса. В узком интервале промежуточных температур происходит переход от кривых типа b к кривым типа e и наблюдаются осциллограммы g , форма которых быстро изменяется с температурой. Переход от релаксационных кривых типа b к кривым типа g можно проанализировать, рассмотрев температурный спектр величины $\Delta C = C(t_1) - C(t_2)$, которую мы получаем на выходе анализатора переходной емкости (рис. 3).

3. Обсуждение результатов

В спектроскопии, использующей переходную емкость, вклады от обоих контактов, если ни один из них не омический, имеют противоположные знаки. Зависимости типа b на рис. 2 характерны для релаксации области пространственного заряда под диэлектриком при наличии большой плотности поверхностных состояний. Зависимости типа e характерны для релаксации на не совсем омическом контакте $SmS-In$, поскольку направление медленной составляющей релаксации противоположно тому, которое характерно для релаксации в области пространственного заряда в SmS под диэлектриком (рис. 2, b). Можно предполагать, что и при низких температурах вклад контакта $SmS-In$ в зависимость емкости от времени существует, но его величина значительно меньше, чем вклад релаксации области обедненного слоя под диэлектриком. Кривая g (рис. 2) отражает ситуацию, когда постепенно исчезает релаксация в области пространственного заряда под диэлектриком.

Исчезновение релаксации в области под диэлектриком можно объяснить изменением изгиба энергетических зон в SmS . Величина изгиба в конечном счете должна быть такой, чтобы обедненный слой исчез и между дном зоны проводимости и уровнем Ферми не осталось по-

поверхностных состояний, способных давать вклад в релаксацию емкости в интервале времен, регистрируемых нашей установкой (более 1 мкс). Кажется правдоподобным, что изгиб зон приблизит дно зоны проводимости к уровню Ферми, а может быть, они и пересекутся. При этом вблизи поверхности возникнет обогащенный слой. Если бы диэлектрического слоя не было, а был контакт металл—полупроводник, то запирающий контакт превратился бы в инжектирующий. Таким образом, схему энергетических уровней при низких температурах (рис. 2, б) можно представить в виде, изображенном на рис. 4, а, а при высоких температурах — на рис. 4, б. Мы считаем, что такой процесс является следствием фазового перехода полупроводник—металл, происходящего под действием механического давления контактной иглы. Действительно, механические напряжения, возникающие под острием иглы, достаточны для индуцирования фазового перехода полупроводник—металл в SmS, а именно: площадь касания прижимного контакта $\sim 100 \text{ мкм}^2$, прижимная сила на контакте $\sim 0.1 \text{ Н}$, что соответствует среднему давлению $\sim 10^3 \text{ МПа}$. Эта цифра приблизительно совпадает с величиной, характерной для давления фазового перехода полупроводник—металл в SmS, 650 МПа [1]. Фазовый переход носит концентранный характер [4], и при повышении температуры происходит постепенное накопление электронов проводимости, которых при некотором количестве, характеризуемом в данном случае температурами несколько выше 270 К , оказывается достаточно для того, чтобы вызвать фазовый переход при имеющемся давлении иглы. Таким образом, пики на рис. 3 показывают температурную область фазового перехода. Ее величина зависит от материала диэлектрика. Так, при более мягком диэлектрике (полиимиде) давление более равномерно распределено на поверхности и поэтому пик уже, чем для Al_2O_3 .

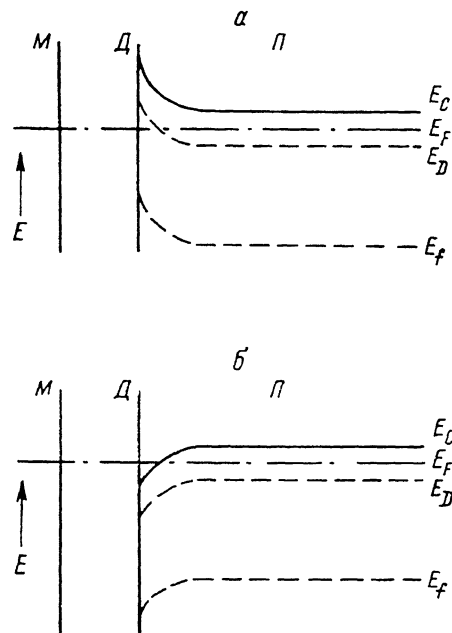


Рис. 4. Схема энергетических уровней в SmS в области механических напряжений под иглой при низких (а) и высоких (б) температурах.

E_C , E_F , E_D , E_f — дно зоны проводимости, уровень Ферми, примесные уровни и f -уровни ионов самария соответственно.

Литература

- [1] Смирнов И. А., Осотский В. С. УФН, 1978, т. 124, № 2, с. 241—279.
- [2] Lang D. V. J. Appl. Phys., 1974, v. 45, N 7, p. 3023—3032.
- [3] Lanyi S. 10 celostatni konference o elektronicke mericitechnice «Elmeko 84». Dom techniky ČSVTS. Brno, 1984, v. 4, p. 83.
- [4] Каминский В. В., Капустин В. А., Смирнов И. А. ФТТ, 1980, т. 22, № 12, с. 3568—3571.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в редакцию
25 марта 1987 г.