

# Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

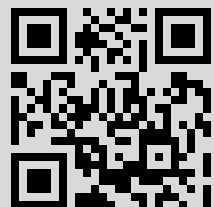
D. I. Tsiulyanu, Formation of Gap Edges in Chalcogenido Glass-Like Semiconductors of the  $\text{As}_2\text{S}_3\text{-Ge}$  System, *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*, 1986, Volume 20, Issue 10, 1900–1902

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use  
<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 81.180.74.152

January 25, 2021, 17:10:02



рах постоянные нарастания тока коллектора и значения времени жизни электронов в базе близки и связаны между собой практически линейной зависимостью, причем  $\tau_n \approx 1.35\tau_p$ . Полученное экспериментальное соотношение между  $\tau_n$  и  $\tau_p$  хорошо согласуется с выводами теоретического анализа переходных процессов в высоковольтных фотонно-инжекционных транзисторах. В этом легко убедиться, обратившись к рис. 2 работы [4].

В заключение отметим, что изменение температуры окружающей среды в диапазоне 20–160 °С не приводило к заметному изменению значений  $\tau_n$ ,  $\tau_p$  и  $\tau_{in}$ . Не изменялись перечисленные параметры в исследованных образцах и в широком диапазоне плотностей токов.

Авторы признательны Ж. И. Алфёрову за интерес и внимание к работе.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Алфёров Ж. И., Тучкевич В. М., Челноков В. Е. Силовые арсенид-галлиевые приборы. — Электротехника, 1984, № 3, с. 25–28.
- [2] Задиранов Ю. М., Корольков В. И., Никитин В. Г., Пономарев С. И., Рожков А. В. Импульсные тиристоры на основе гетероструктур GaAs—AlGaAs. — Письма ЖТФ, 1983, т. 9, в. 11, с. 652–655.
- [3] Задиранов Ю. М., Корольков В. И., Никитин В. Г., Рожков А. В. Мощные импульсные транзисторы на основе арсенида галлия. — Письма ЖТФ, 1984, т. 10, в. 16, с. 976–979.
- [4] Григорьев Б. И., Задиранов Ю. М., Корольков В. И., Рожков А. В. Переходные процессы в высоковольтных фотонно-инжекционных транзисторах на основе гетероструктуры. — ФТП, 1986, т. 20, в. 4, с. 633–639.
- [5] Григорьев Б. И., Корольков В. И., Рожков А. В., Юферев В. С. Высоковольтный фотонно-инжекционный транзистор на основе гетероструктуры. — ФТП, 1985, т. 19, в. 5, с. 878–884.
- [6] Григорьев Б. И., Осипов Ю. М., Тогатов В. В. Анализ переходных процессов в диодных и тиристорных структурах при больших плотностях токов. — Электрон. техн., сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1982, в. 2 (91), с. 59–65.
- [7] Григорьев Б. И., Данильченко В. Г., Корольков В. И. Время жизни неравновесных носителей заряда в слабо легированных эпитаксиальных слоях GaAs. — ФТП, 1983, т. 17, в. 11, с. 1953–1956.

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

Получено 13.01.1986  
Принято к печати 10.04.1986

ФТП, том 20, вып. 10, 1986

## ФОРМИРОВАНИЕ КРАЕВ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ В ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ СИСТЕМЫ As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>—Ge

Циуляну Д. И.

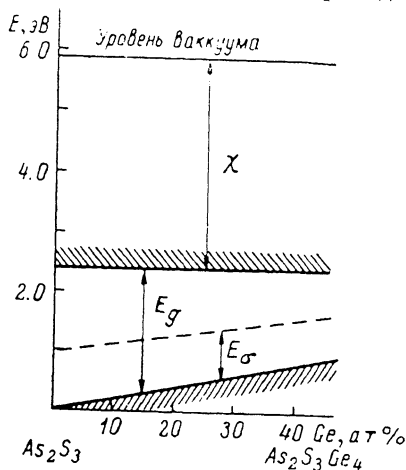
Введение германия в расплав стеклообразного As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> приводит к монотонному (почти линейному) уменьшению оптической ширины запрещенной зоны  $E_g$  с ростом концентрации германия [1]. Равновесный уровень Ферми остается при этом вблизи середины запрещенной зоны [2]. Указанные факты позволяют предположить, что сплавы As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>—Ge являются твердыми растворами, в которых атомы германия не проявляют электрической активности и, насыщая все свои валентные связи, изменяют только величину  $E_g$ . Однако не ясно, за счет сдвига края какой из разрешенных зон — потолка валентной зоны  $E_v$  или дна зоны проводимости  $E_c$  происходит уменьшение  $E_g$ . Аналогичный вопрос возникал и в работах [3–5], где предполагалось, что изменение  $E_g$  в твердых растворах происходит в основном за счет сдвига только одной из разрешенных зон.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные, показывающие, что в случае твердых растворов системы As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>—Ge уменьшение  $E_g$  действительно происходит за счет сдвига только одной, а именно валентной зоны.

Для определения абсолютного энергетического положения краев  $E_c$  и  $E_v$  исследовались гетеропереходы, созданные на основе изучаемых халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) и хорошо изученного монокристаллического полупроводника — кремния. Одним из основных параметров гетероперехода, определяющих физические процессы на границе раздела, является энергия электронного средства ( $\chi$ ), т. е. энергия, необходимая для перевода электрона, с энергией, соответствующей дну зоны проводимости на уровень вакуума. Разрыв зон проводимости на границе раздела гетероперехода соответствует разнице в энергиях электронного средства контактирующих материалов. Следовательно, для определения энергии дна зоны проводимости  $E_c$  относительно уровня вакуума необходимо знать энергию электронного средства кристаллического полупроводника и энергетический разрыв зон проводимости ( $\Delta E_c$ ).

В гетеропереходах на основе ХСП системы  $As_2S_3-Ge$  и монокристаллического  $p-Si$  величина  $\Delta E_c$  определялась по температурной зависимости обратного тока аналогично [6, 7], и, как было показано в [8], значение  $\chi \equiv E_c$  очень слабо изменяется с ростом содержания германия в расплаве.

На рисунке показана зависимость положения края зоны проводимости  $E_c$  от



Зависимость энергетического положения краев разрешенных зон и равновесного уровня Ферми от состава стекла в системе  $As_2S_3-Ge$ .

носительно уровня вакуума. Для определения положения уровня  $E_v$  использовались данные по оптическому поглощению [1]. Полученные значения  $E_v$ , равные  $E_c - E_g$ , также приведены на рисунке. Видно, что ширина запрещенной зоны ХСП сужается при добавлении германия главным образом за счет сдвига потолка валентной зоны, т. е. процесс замещения атомов халькогена и мышьяка атомами германия сопровождается перестройкой структуры валентной зоны.

Этот факт может быть понят в рамках приведенного в [9] объяснения биполярной проводимости в ХСП. Согласно этой работе, перестройка валентной зоны при введении германия в  $As_2S_3$  происходит вследствие различия в потенциалах ионизации германия (7.9 эВ), мышьяка (9.7 эВ) и халькогена (S — 10.4 эВ), т. е. того уровня, от которого происходит расщепление связывающих и антисвязывающих орбиталей, ответственных за формирование разрешенных зон в твердом теле. В  $As_2S_3$  на этом уровне расположена неподделенная пара электронов, состояния которых ответственны за формирование верхней части валентной зоны.

При введении в  $As_2S_3$  германия с потенциалом ионизации, на 2.5 и 1.8 эВ меньшим, чем у атомов серы и мышьяка соответственно, потолок валентной зоны формируется главным образом за счет связей Ge—S и Ge—As, а состояния неподделенных пар атомов халькогена, по-видимому, попадают глубоко в валентную зону. Таким образом, в рамках этой модели естественно ожидать, что увеличение концентрации германия приведет к сдвигу потолка именно валентной зоны.

В заключение автор выражает благодарность А. М. Андриешу и К. Д. Цэндину за интерес к работе и полезные замечания.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Андриеш А. М., Циуляну Д. И. Исследование края поглощения стеклообразных материалов в системе  $As_2S_3-Ge$ . — ФТП, 1973, т. 7, в. 2, с. 417—420.
- [2] Иову М. А., Циуляну Д. И. Электропроводность и фотопроводимость тонких слоев  $As_2S_3-Ge$ . — В кн.: Фотоэлектрические свойства гетеропереходов. Кишинев, 1981, с. 163—166.

- [3] Гельмонт Б. Л., Цэндин К. Д. О примесной проводимости в стеклообразных модифицированных полупроводниках. — ФТП, 1983, т. 17, в. 6, с. 1040—1044.
- [4] Aveyanov V. L., Gelmont B. L., Kolomiets B. T., Lybin V. M., Prihodko O. Yu., Tsendin K. D. — J. Non-Cryst. Sol., 1984, v. 64, N 1, 2, p. 179—282.
- [5] Аверьянов В. Л., Цэндин К. Д. Легирование стеклообразных и аморфных полупроводников. Л.: РТП ЛИЯФ, 1985. 24 с.
- [6] Petersen K. E., Adler D. — Appl. Phys. Lett., 1974, v. 25, N 4, p. 211—213.
- [7] Chang C. H., Dann D. — J. Appl. Phys., 1977, v. 48, N 4, p. 1751—1752.
- [8] Андриеш А. М., Циулянц Д. И. Электрофизические свойства гетеропереходов стеклообразный полупроводник—кристалл. — В кн.: Тр. Межд. конф. «Аморфные полупроводники-78». Пардубице, 1978, с. 601—608.
- [9] Барановский С. Д., Бордовский Г. А., Казакова Л. П., Лебедев Э. А., Любин В. М., Савинова Н. А. Биполярная фотопроводимость в халькогенидных стеклообразных полупроводниках системы Ge—Pb—S. — ФТП, 1984, т. 18, в. 6, с. 1016—1020.

Институт прикладной физики  
АН МССР  
Кипшиев

Получено 27.02.1986  
Принято к печати 10.04.1986

ФТП, том 20, вып. 10, 1986

## МЕХАНИЗМЫ ТЕНЗОЭФФЕКТОВ В *n*-Ge В ОБЛАСТИ СМЕШАННОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Дучал В. Я., Ермаков В. Н., Колomoец В. В.

На основании результатов теории деформационного потенциала можно полагать, что в общем случае при одноосной упругой деформации кристаллов многодолинных полупроводников наряду с изменением энергетического зазора между однотипными долинами и ветвями одной и той же зоны изменяется также энергетическая щель между экстремумами различных зон. Следовательно, в области смешанной и собственной проводимости увеличение (при сужении ширины запрещенной зоны) или уменьшение (при увеличении ширины запрещенной зоны) концентрации собственных носителей тока должно существенным образом изменять при возрастании механического напряжения одноосного сжатия кристаллов ( $X$ ) относительный вклад различных механизмов тензоэффектов в явления переноса и, в частности, в пьезосопротивление.

В связи с этим понятно, что установление роли различных механизмов тензоэффектов в экспериментах по изучению пьезосопротивления *n*-Ge может быть убедительно проведено лишь при использовании сильных одноосных упругих деформаций кристаллов.

Известно, что концентрация собственных носителей тока в германии при  $T=300$  К равна примерно  $n_i=p_i=2 \cdot 10^{13}$  см<sup>3</sup>. Используя образцы германия с концентрацией легирующей примеси, сравнимой с указанной концентрацией собственных носителей, можно наглядно продемонстрировать, какой вклад в пьезосопротивление вносит увеличение концентрации собственных носителей тока за счет уменьшения ширины запрещенной зоны вследствие смещения вниз по шкале энергий нижайшей  $L_1$ -долины (долина [111]) и встречного движения валентной зоны  $M_j = \pm 1/2$  при  $X \parallel [111]$ . В этом случае при малых значениях  $X$  и, следовательно, малом изменении концентрации собственных носителей процесс перераспределения электронов между однотипными  $L_1$ -долинами приводит к возрастанию удельного сопротивления с ростом механического напряжения  $X$ . В дальнейшем увеличение деформации должно приводить к уменьшению удельного сопротивления вследствие увеличения концентрации собственных носителей тока.