

ЭЛЕКТРОННО-МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС НА ГЛУБОКИХ ЦЕНТРАХ

В $p^+ - p^0 - \pi - n^0$ -СТРУКТУРАХ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Лебедев А. А., Митрохин В. И., Рембеза С. И.,
Свиридов В. В., Степанова М. Н., Ярославцев Н. П.

В настоящее время в силовой полупроводниковой электронике на основе GaAs широко используются $p^+ - p^0 - \pi - n^0$ -структуры, в которых высокоомная π -область с ρ до 10^6 Ом·см обусловлена наличием в слоях глубоких центров (ГЦ) [1]. Знание природы этих ГЦ, их энергетического спектра в запрещенной зоне, распределения по толщине слоя важно при разработке технологии получения структур. Однако применение здесь таких традиционных методов, как холловские измерения, DLTS и др., затруднено в основном сложностью получения электрических контактов к измеряемым слоям.

Поэтому представляет интерес для неразрушающего бесконтактного контроля π -слоя привлечение метода внутреннего трения (ВТ), который позволяет контролировать содержание глубоких примесей в высокоомных соединениях $A^{III}B^V$ [2-5]. Примеси, создающие глубокие уровни, обнаруживаются методом ВТ по наличию резонансных пиков на температурной зависимости затухания механических колебаний за счет явления электронно-механического резонанса на глубоких уровнях (ЭМРГУ).

Температурная зависимость ВТ исследовалась в диапазоне частот $5 \div 20$ кГц и интервале температур $-120 \div 180$ °С в соответствии с методикой [2, 3]. $p^+ - p^0 - \pi - n^0$ -Структуры получались по методике, описанной в [6]. Проверка применимости метода ВТ для изучения глубоких центров в $p^+ - p^0 - \pi - n^0$ -структурах осуществлялась на специально приготовленных образцах, π -слой одних из которых легировался железом в процессе эпитаксии, а других — хромом. Наблюдались связанные с ЭМРГУ пики ВТ (рис. 1, а), параметры которых, приведенные в таблице, оказались близки к параметрам аналогичных пиков ВТ, наблюдававшихся ранее в объемном арсениде галлия, также легированном железом и хромом.

Исследования структур, не подвергавшихся специальному легированию при выращивании, позволили разделить их на две группы — А (рис. 1, б) с одним пиком ВТ и В (рис. 1, в) с тремя пиками.

Данные, полученные для структур группы А, хорошо совпадают как с данными, полученными ранее для объемного арсенида галлия, легированного железом [3, 4], так и с результатами исследования $p^+ - p^0 - \pi - n^0$ -структур, π -слой которых легировался той же примесью (рис. 1, а, кривая 1). Поэтому

Характеристики пиков ВТ, связанных с ЭМРГУ,
в $p^+ - p^0 - \pi - n^0$ -структурах арсенида галлия

Структура	Температура пика ВТ, К	Частота колебаний, кГц	Энергия активации пика ВТ (энергия ионизации глубокого центра), эВ (± 0.02)
π -Слой, легированный хромом	351	10.5	0.73
π -Слой, легированный железом	227	8.7	0.51
Тип А	217	10.0	0.52
Тип В	211	11.0	0.4
	353	11.0	0.54
	382	11.0	0.76

глубокий уровень (ГУ) 0.52 эВ, наблюдаемый в структурах этой группы, можно связать с неконтролируемой примесью железа.

Что касается структур группы В, то обнаруженные здесь ГУ пока трудно связать с какими-то конкретными глубокими центрами. Следует только отметить, что ГЦ с близкими энергиями ионизации 0.4 и 0.7 эВ ранее обнаруживались в аналогичных структурах методом тока, индуцированного электронным зондом [7].

Была предпринята попытка выяснить распределение ГЦ, ответственных за три обнаруженных пика в π -слое структур группы В. С этой целью проводилось послойное стравливание π -слоя и изучалось ВТ. Как видно из рис. 2, первыми при послойном стравливании исчезают два более высокотемпературных пика, за них ответственны ГЦ с энергиями ионизации 0.54 и 0.76 эВ. При стравливании π -слоя на глубину 40 мкм эти уровни почти перестают наблюдаться, а уровень ГУ 0.4 эВ, наоборот, достигает максимума своей величины. Это говорит о том, что на данной глубине наблюдается максимальная концен-

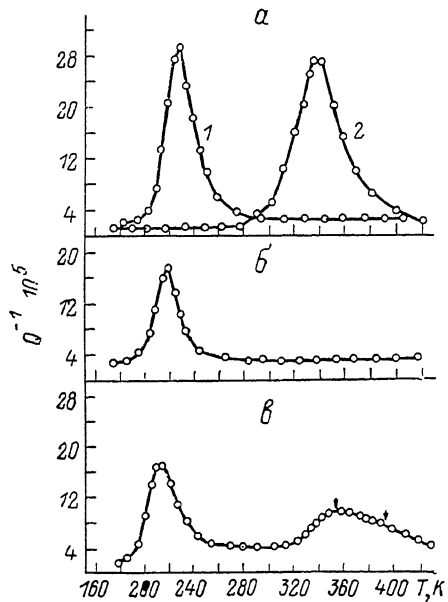


Рис. 1. Температурная зависимость ВТ в $p^+ - p^0 - \pi - n^0$ -структурах арсенида галлия.

2) π -слой, легированные: 1 — железом, 2 — хромом. Структуры типа: б — А, в — В.

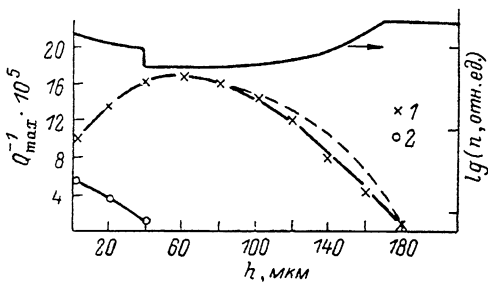


Рис. 2. Зависимость высоты пиков ВТ от толщины снятого слоя μ .

Штриховая кривая — теория; точки: 1 — эксперимент для пика 0.4 эВ, 2 — эксперимент для суперпозиции пиков 0.54 и 0.76 эВ. Показано также качественное распределение концентрации носителей в π -слое.

трация ГЦ, ответственных за данный уровень: наибольший вклад во ВТ образца дают его приповерхностные области. Отсюда можно заключить, что ГЦ с энергией ионизации 0.4 эВ образуются в π -слое уже на начальных стадиях роста, а затем при толщинах ~ 140 мкм начинают появляться ГЦ, обуславливающие уровни 0.54 и 0.76 эВ.

Была рассчитана теоретическая зависимость высоты пиков от толщины стравленного слоя (рис. 2) в предположении ступенчатого изменения концентрации носителей, которой определяются высоты пиков [4]. Отклонение экспериментальных точек от полученной кривой в области глубин 120–180 мкм можно объяснить переменной концентрацией как глубоких, так и мелких центров по толщине π -слоя. На том же рисунке приведена зависимость качественного распределения концентрации носителей в пределах π -слоя, построенная из результатов ВТ.

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что изучение ВТ в $p^+ - p^0 - \pi - n^0$ -структурах GaAs, а также в структурах, аналогичных им, может быть весьма полезным для исследования содержащихся в них ГЦ.

Список литературы

- [1] Гуткин А. А., Корольков В. И., Осипова Р. С., Пономарев С. И., Цвилев Г. И. // Технология силовых полупроводниковых приборов. Таллин, 1987. С. 176–180.
- [2] Митрохин В. И., Рембеза С. И., Ярославцев Н. П. // ФТТ. 1987. Т. 26. В. 7. С. 2228–2229.

- [3] Митрохин В. И., Рембеза С. И., Свиридов В. В., Ярославцев Н. П. // ФТТ. 1985. Т. 27. В. 7. С. 2081—2085.
- [4] Митрохин В. И., Рембеза С. И., Свиридов В. В., Ярославцев Н. П. // Тез. докл. IX Всес. конф. по физике полупроводников. Минск, 1985. Ч. 3. С. 107.
- [5] Кутукова О. Г., Митрохин В. И., Рембеза С. И., Ярославцев Н. П. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 7. С. 1335—1336.
- [6] Никитин В. Г., Рачинска И., Сеель Е. Р., Степанова М. Н., Третьяков Д. Н., Федоренко Т. П. // Тез. докл. III Всес. конф. по физическим процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Одесса, 1982. С. 262—264.
- [7] Соболев М. М., Степанова М. Н., Конников С. Г. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 2. С. 383—385.

Воронежский политехнический институт

Получено 27.10.1987
Принято к печати 10.01.1989

ФТП, том 23, вып. 5, 1989

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ НА ПАДАЮЩЕЙ ВЕТВИ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВОВ $Pb_{1-x}Sn_xTe\langle In \rangle$

Акимов Б. А., Хохлов Д. Р., Чесноков С. Н.

Одна из особенностей сплавов $Pb_{1-x}Sn_xTe\langle In \rangle$, находящихся в диэлектрическом состоянии [1], заключается в том, что их темновая вольтамперная характеристика (ВАХ) является S-образной в области гелиевых температур [2]. Считается, что формирование падающей ветви ВАХ обусловлено механизмом Джоулева пробоя [2]. Ранее, однако, рассматривались квазистатические ВАХ. Динамика движения рабочей точки по падающей ветви не исследовалась. В то же время эксперименты такого типа могут дать убедительные доказательства Джоулевой природы падающей ветви ВАХ.

Действительно, согласно расчетам, температура образца, рабочая точка которого расположена на падающей ветви, заметно выше температуры окружающей среды $T_0=4.2$ К. В таких условиях в разрешенной зоне сплавов, как правило, уже имеется значительное количество термовозбужденных свободных носителей заряда, обеспечивающих омическую проводимость. При медленном квазистатическом возрастании тока через образец увеличивается количество выделяемого Джоулева тепла, что приводит к росту температуры образца и к падению его сопротивления. В результате рабочая точка смещается вдоль падающей ветви. Если же увеличение тока происходит достаточно быстро, то выделившееся Джоулево тепло не успевает заметно изменить температуру образца, поэтому и сопротивление последнего практически не уменьшается. Это означает, что изменение напряжения, соответствующее быстрому увеличению тока, должно отвечать закону Ома.

Описанные соображения явились основой для проведения следующего эксперимента.

В качестве объекта исследования был выбран сплав $Pb_{0.75}Sn_{0.25}Te + 0.5$ ат% In, выращенный из раствора-расплава. Примесь вводилась в жидкую зону. Образец прямоугольной формы размером $1 \times 1 \times 5$ мм вырезался электроэрозионным методом и протравливался в полирующем травителе $HBr + VBr_2$. Контакты наносились путем подпайки посеребренных медных проводочек припоем $In + 4\% Ag + 1\% Au$. Расстояние между потенциальными контактами составляло ~ 2 мм. Образец находился в диэлектрическом состоянии. Энергия активации проводимости в области гелиевых температур составляла $\epsilon_a=21$ мэВ.

Образец, помещенный в наполненную парами гелия металлическую камеру, охлаждался до температуры $T_0=4.2$ К, после чего рабочая точка выводилась на падающую ветвь ВАХ. Затем ток I через образец модулировался с частотой ω : $I=I_0+\Delta I \sin \omega t$. Глубина модуляции $\Delta I \ll I_0$.