

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПОСРЕДСТВОМ ВОЗМУЩЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНОЙ

© О.А.Коротченко

Киевский университет им. Тараса Шевченко,
252022 Киев, Украина

(Получена 4 октября 1995 г. Принята к печати 16 ноября 1995 г.)

Эпитаксиальные пленки SiGe, нанесенные на подложку Si с ориентацией (100), изучены методом нестационарной спектроскопии глубоких уровней с возмущающим воздействием акустической волны в мегагерцовом диапазоне частот. Зарегистрировано существенное различие во влиянии акустической волны на уровни дефектов с энергией активации ~ 0.2 и 0.4 эВ. Обнаруженный эффект позволяет предположительно связать уровень с энергией 0.4 эВ с точечными дефектами, локализованными вблизи границы раздела.

Полупроводниковые гетероструктуры и сверхрешетки являются привлекательным объектом исследования благодаря ряду новых физических явлений, обнаруженных в этих системах, а также возможности их широкого практического использования. Изготовление указанных структур включает несколько последовательных стадий, осуществляемых при температурах T , часто превышающих 1000°C . Как следствие, в выращиваемых структурах обнаруживаются дефекты, которые могут оказывать критическое влияние на работоспособность создаваемых устройств. Известные методы изучения дефектов в полупроводниках с успехом применяются в настоящее время и для исследования полупроводниковых структур [1]. Вместе с тем распределение точечных дефектов в выращиваемом слое полупроводника и, в частности, дефектов, локализованных вблизи границы раздела, является непростой проблемой экспериментального обнаружения. Настоящая работа является попыткой использования акустической волны (АВ) в мегагерцовом диапазоне частот для идентификации точечных дефектов вблизи границы раздела. Учитывая механическую неоднородность системы подложка-(эпитаксиальный слой), можно ожидать избирательного воздействия «акустического возмущения» на дефекты, локализованные вблизи границы раздела.

Представленные результаты были получены на пластинах (100)Si с нанесенным CVD-методом эпитаксиальным слоем сплава $\text{Si}_{0.83}\text{Ge}_{0.17}$, а также легированных примесями Se (концентрация $9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) в контрольных опытах. Толщина эпитаксиальной пленки составляла 1 мкм. Акустические волны Лэмба возбуждались при помещении на поверхность образца пьезокерамического преобразователя с резонансной частотой f вблизи 8 МГц. Это позволяло возбуждать нижайшие моды волн Лэмба в области $f < 4 \text{ МГц}$ в пластинах толщиной порядка 300 мкм. Амплитуда акустической волны $A_0 \sim V$, где V — прикладываемое к пьезопреобразователю электрическое напряжение. Ввиду сложного характера распределения механических напряжений внутри пластины, а также механической неоднородности системы подложка-(эпитаксиальная пленка), в настоящей работе не оценивается величина A_0 . Полученные результаты представлены в единицах V . Обнаружение дефектов структуры осуществлялось методом нестационарной спектроскопии глубоких уровней (НСГУ) с использованием спектрометра DLS-83D. Измерения были проведены с барьерами Шоттки, образованными напылением золотых контактов на поверхность образца, а также p^+n -диодами. Прикладываемое к барьеру обратное смещение U_R выбиралось таким образом, чтобы тестируемая область содержала границу раздела. Энергия активации уровней определялась по наклону зависимости e/T^2 от $1/T$, где e — скорость испускания носителей.

Производилась также проверка регистрирующей аппаратуры на отсутствие наводок от возбуждающего пьезопреобразователя напряжения V . Приложив V в температурном интервале, где сигнал НСГУ отсутствовал, не обнаруживало отклика спектрометра. Дополнительно исследовались спектры НСГУ в образцах Si:Se без эпитаксиального покрытия. В этом случае регистрировалось лишь слабое уменьшение амплитуды пиков НСГУ (не более 5%) с их смещением в сторону меньших T , что является предметом отдельного исследования. Указанные факты позволили связать представленные далее результаты только со свойствами исследуемых образцов.

Спектры НСГУ образцов SiGe/Si приведены на рис. 1. Исходный спектр 1 содержит два пика A и B , соответствующие уровням с энергией активации $E_a \simeq 0.2 \text{ эВ}$ (пик A) и 0.4 эВ (пик B). Следует отметить, что пики вблизи 0.2 и 0.4 эВ типичны для сплава SiGe [2-4]. Однако их природа однозначно не установлена к настоящему времени. Пик с $E_a = 0.18 \text{ эВ}$ связывался как с загрязнением SiGe при выращивании [3], так и с акцепторным уровнем бора [4]. Уровень вблизи 0.4 эВ наблюдался в образцах, термически обработанных при $T > 500^\circ\text{C}$ [2], легированных примесями Cu [3], а также содержащих релаксированные слои SiGe с дислокациями [4]. Спектры фотолюминесценции исследуемых образцов не обнаружили характерных дислокационных линий. Это свидетельствует о том, что наблюдаемые нами уровни можно связать с точечными дефектами.

Изменение спектра НСГУ при возмущении образца акустической волной демонстрирует спектр 2 на рис. 1. Амплитуда пиков A и B как функция амплитуды AV представлена на рис. 2. Видно, что акустическая волна оказывает существенно различное воздействие на пики A и B спектра НСГУ. Амплитуда пика B быстро падает с ростом A_0

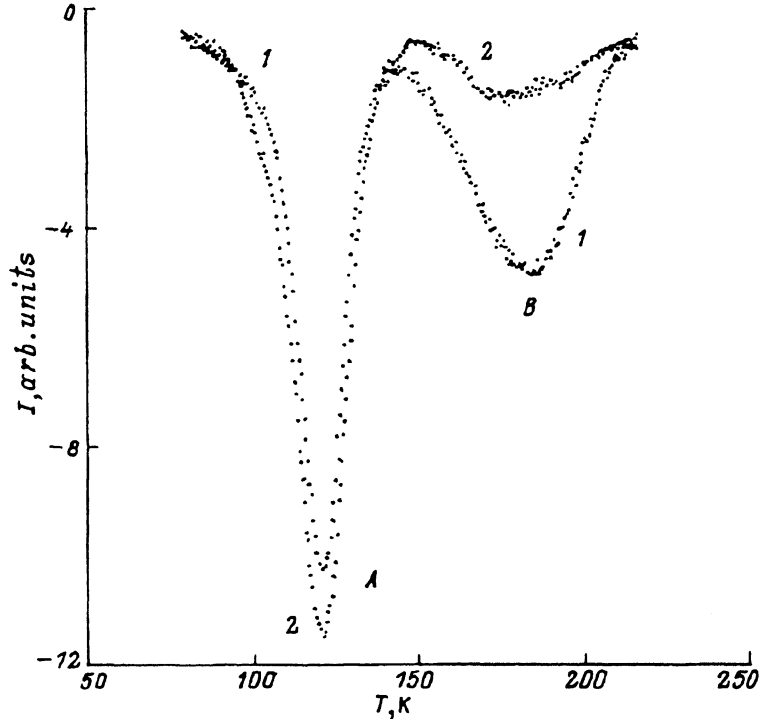


Рис. 1. Спектр НСГУ $\text{Si}_{0.83}\text{Ge}_{0.17}/\text{Si}$ при амплитуде акустической волны A_0, B : 1 — 0, 2 — 2. $U_R = -2 \text{ В}$, $e = 628 \text{ с}^{-1}$, $f = 3.47 \text{ МГц}$.

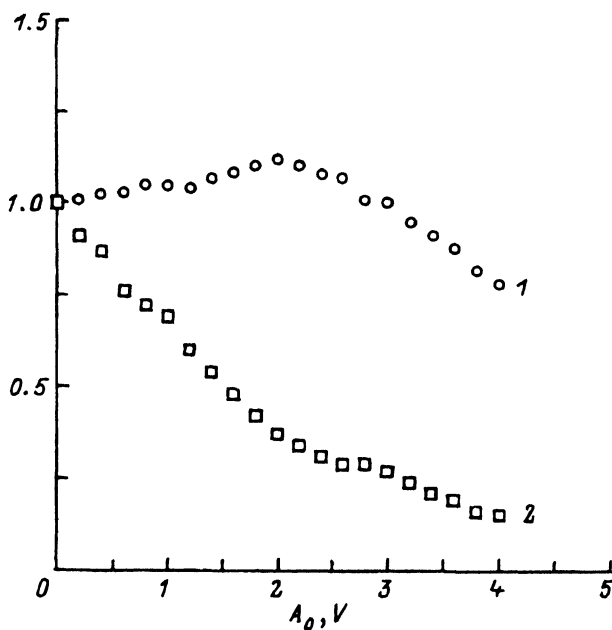


Рис. 2. Изменение амплитуды пиков А (1) и В (2), показанных на рис. 1, с увеличением амплитуды акустической волны.

(см. кривую 2 на рис. 2). Он становится практически неразличимым в спектре НСГУ. Пик *A* характеризуется некоторым первоначальным ростом с амплитудой AB . При дальнейшем повышении A_0 его амплитуда также падает (см. кривую 1 на рис. 2). Отметим при этом, что в отличие от пика *B* пик *A* всегда оставался хорошо различимым в спектре НСГУ.

Для анализа обнаруженных закономерностей существенно, что пик НСГУ вблизи 0.2 эВ предположительно связывается с объемом сплава SiGe [2,3]. Пик с $E_a \approx 0.4$ эВ либо непосредственно связывается с границей раздела [4], либо допускает такую трактовку [2]. Эти результаты в целом объясняют представленные в настоящей работе данные. Различия во влиянии AB на пики *A* и *B* спектра НСГУ могут быть связаны с неравномерным распределением соответствующих центров по толщине пленки SiGe. Учитывая большое (около 4%) несоответствие решеток Si и Ge, а также неоднозначность электрических полей вблизи границы раздела, можно ожидать существенного влияния акустических волн на точечные дефекты, локализованные вблизи такой границы. Это и позволяет связать пик НСГУ с энергией 0.4 эВ с центрами, расположенными вблизи границы раздела SiGe/Si. Влиянием границы раздела можно, по-видимому, объяснить и уменьшение амплитуды пика *A* на рис. 2. Увеличение его амплитуды при малых A_0 требует дальнейшего изучения. Сигнал НСГУ в максимуме пропорционален концентрации дефектов данного типа. Следовательно, его уменьшение соответствует уменьшению количества дефектов в данном зарядовом состоянии. Воздействие AB не вызывало появления новых пиков НСГУ. Это позволяет связать уменьшение сигнала НСГУ с опустошением формирующих его центров при возмущении акустической волной. Впрочем, этот эффект, как и сам механизм взаимодействия AB с содержащей дефекты границей раздела, требует дальнейшего изучения.

Таким образом, обнаружено существенное различие во влиянии акустической волны на пики спектра НСГУ образца SiGe/Si. Оно предположительно связывается с различным распределением точечных дефектов по толщине пленки SiGe. Как следствие, обнаруженный эффект может позволить производить идентификацию дефектов, сосредоточенных вблизи границы раздела.

Список литературы

- [1] Ф. Бехштедт, Р. Эндерлайн. *Поверхности и границы раздела полупроводников* (М., Мир, 1990).
- [2] V. Nagesh, E.-L. Hellqvist, H.G. Grimmeiss, K.L. Ljutovich, A.S. Ljutovich. *Sol. St. Commun.*, **75**, 151 (1990).
- [3] H.B. Erzgraber, G. Kissinger, D. Kruger, T. Morgenstern, K. Schmalz, J. Schilz, M. Kurten, A. Osinsky. *Mater. Sci. Forum*, **143-147**, 489 (1994).
- [4] G. Bremond, A. Souifi, P. Degroodt, P. Warren, D. Dutartre, G. Guillot. *Mater. Sci. Forum*, **143-147** 495 (1994).

Редактор Т.А. Полянская

On an identification of point defects localized near the semiconductor interface by acoustic wave perturbation

O.A. Korotchenkov

Kiev University, 252022 Kiev, the Ukraine

Epitaxial layers of SiGe deposited on a (100)Si surface were investigated by DLTS method with perturbation by acoustic wave (AW) in a MHz-frequency range. A considerable difference in AW action on levels with activation energies of ~ 0.2 and 0.4 eV was registered. Effect observed allows to tentatively attribute the 0.4 eV level to point defects localized near the interface.
