

Существенной особенностью спектра поглощения CuInSe_2 является то, что при изменении направления линейной поляризации падающего света, т. е. когда $E \parallel c$, экситонный пик исчезает. Такую поляризационную зависимость коэффициента поглощения можно объяснить, если сопоставить ее с переходами B , A , и C в квазикубической модели [5] в соответствии с правилами отбора оптических переходов в точке $k = (0, 0, 0)$ для зонной модели халькопирита [6]. Анализ проведенного сравнения позволяет нам однозначно связать наблюдаемый экситонный максимум с оптическими переходами $\Gamma_6^v \rightarrow \Gamma_6^c$, так как переходы $\Gamma_7^v \rightarrow \Gamma_6^c$ не имеют поляризационной зависимости.

Приложение к образцу магнитного поля 7.5 Т сужает экситонную полосу в пределах 30% по полуширине и сдвигает ее в сторону больших энергий на величину ~ 3 мэВ. В глубине зоны при энергиях $h\nu > 1.055$ эВ наблюдаются лишь 2—3 слабых максимума, относящихся к появлению осциллирующего магнитопоглощения.

Для получения более подробных спектров осциллирующего магнитопоглощения потребуются, по-видимому, работа с совершенными и более тонкими (≤ 4 мкм) кристаллами.

В заключение автор выражает благодарность И. К. Камиллову за внимание к работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] P. Lange, H. Neff, M. Fearheiley, K. I. Bachmann. Phys. Rev. B, 31, 4074 (1985).
- [2] М. А. Абдуллаев, Д. Х. Амирханова, А. К. Ахмедов, Р. М. Гаджиева, М-Р. А. Магомедов, П. П. Хохлачев. Изв. АН СССР, Неорганические материалы (1992).
- [3] Р. П. Сейсян, М. А. Абдуллаев, Б. П. Захарченя. ФТП, 7, 958 (1973).
- [4] H. Neumann, H. Sobotta, W. Kissinger, V. Riede, G. Kühn. Phys. St. Sol. (b), 108, 483 (1981).
- [5] I. H. Shay, I. H. Wernick. Ternary chalcopyrite Semiconductors. — Growth, Electronic Properties and Applications. Oxford (1975).
- [6] Г. К. Аверкиева, Г. А. Медведкин, А. А. Яковенко. ФТП, 17, 2081 (1983).

Редактор Л. В. Шаронова

ФТП, том 26, вып. 12, 1992.

СИЛЬНОПОЛЕВОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ В ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С МОДУЛИРОВАННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ (AlGaAs/GaAs)

С. В. Мальцев, В. Я. Принц

Институт физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, Новосибирск, Россия
(Получено 21.04.1992. Принято к печати 1.06.1992)

В последнее время в связи с уменьшением геометрических размеров микроэлектронных приборов происходит увеличение электрических полей в них. Электрические поля в гетероструктурных полевых транзисторах с селективным легированием (ГПТ СЛ) превышают 60 кВ/см. В таких электрических полях могут развиваться процессы переноса в реальном пространстве и захвата электронов, что приводит к изменению рабочих характеристик транзисторов [1].

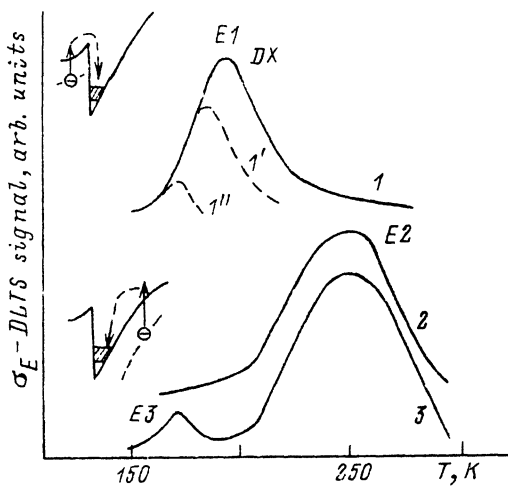


Рис. 1. Спектр σ_E -PCГУ для структур первого типа — захват электронов на DX -центр (1—1') и второго — захват в i -GaAs (2). Спектр σ -PCГУ при заполнении ГУ импульсами + 120 В на подложку (3). Амплитуда электрического поля, кВ/см; 1 — 2.0, 1' — 1.7, 1'' — 1.3. $\tau = 90$ мс.

В настоящей работе изучены сильнополевые процессы в условиях, максимально приближенных к условиям работы ППТ СЛ, с помощью модифицированной методики — сильнополевой релаксационной спектроскопии глубоких уровней по проводимости (σ_E -PCГУ). В отличие от стандартной методики σ -PCГУ [2], в нашем случае заполнение глубоких уровней (ГУ) производится приложением сильного электрического поля вдоль проводящего канала структуры. Сильное электрическое поле вызывает разогрев двумерного электронного газа (ДЭГ), инжекцию и захват электронов на ГУ вблизи гетерограницы. После окончания действия импульса поля наблюдается релаксация проводимости канала структуры, связанная с термической эмиссией электронов с ГУ. Спектр релаксаций проводимости регистрируется так же, как и в стандартной методике σ -PCГУ [2] спектрометром ГУ [3]. С помощью методики σ_E -PCГУ были исследованы процессы сильнополевого захвата электронов в стандартных структурах с модулированным легированием и в полевых транзисторах на основе гетероперехода.

Структуры с модулированным легированием, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии на полуизолирующей подложке GaAs, содержали буферный слой p -GaAs толщиной $0.5 \div 0.8$ мкм, спейсер i -Al_{0.35}Ga_{0.65}As толщиной $30 \div 40$ Å, легированный слой n^+ -Al_{0.35}Ga_{0.65}As ($350+400$ Å) и контактный слой n^+ -GaAs (500 Å). Концентрация ДЭГ изменялась в пределах $5+8 \cdot 10^{11}$ см⁻², подвижности — $3+5 \cdot 10^4$ см²/В · с при температуре 4.2 К.

С целью исследования полевой зависимости процессов захвата в слабых полях $E < 4$ кВ/см (когда еще не образовался домен сильного поля) были изготовлены беззатворные полевые транзисторы с расстоянием исток—сток 50 мкм. В области между истоком и стоком шунтирующий n^+ -GaAs стравливался. Сильное электрическое поле создавалось приложением на контакты коротких (30 + 100 нс) импульсов или серии таких импульсов. Использование коротких импульсов позволяет избежать разогрева решетки.

Спектры σ_E -PCГУ уровней, на которые идет захват электронов в сильном продольном электрическом поле, приведены на рис. 1 (кривые 1 и 2). По спектрам σ_E -PCГУ структуры можно разбить на две группы: первая, у которых

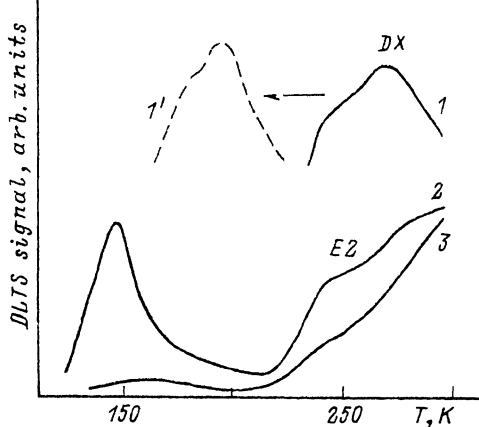


Рис. 2. Спектр σ_E -PCГУ для ППТ СЛ, в которых захват электронов идет в AlGaAs на DX-центр (1), в *i*-GaAs (2, 3). τ : 1 — 20 мкс; 1', 2, 3 — 90 мс. 1' — расчет.

ярко выражен пик $E1$ (энергия термической активации электронов $E_a \approx 0.4$ эВ), и вторая, у которых ярко выражен пик $E2$ ($E_a \approx 0.5$ эВ). Промежуточных вариантов обнаружено не было. Характерным для пиков $E2$ и $E1$ является большая ширина, что, по-видимому, связано с тем, что они представляют собой суперпозицию нескольких близкорасположенных пиков. Была обнаружена трансформация пика $E1$ в зависимости от амплитуды электрического поля (рис. 1). Интересно отметить существенное отличие порогов заполнения ГУ, соответствующих пикам $E1$ и $E2$. Так, пик $E1$ начинает проявляться при полях больше 1 кВ/см, а $E2$ — при полях больше 3 кВ/см, при длительности заполняющего импульса 300 нс. У структур второй группы ($E2$) при приложении поля 4 кВ/см изменение проводимости не превышало 4%, среди же структур первой группы ($E1$) имелись такие, у которых после приложения импульса сильного поля 2 кВ/см проводимость уменьшалась на 20% при одинаковых начальных сопротивлениях и длительности заполняющего импульса 300 нс.

Для выяснения местоположения ГУ в пространстве мы использовали другой способ их заполнения. На подложку под активной областью был сделан омический контакт. Релаксация проводимости ДЭГ измерялась с помощью σ -PCГУ после приложения положительного импульса напряжения до 120 В на подложку. Очевидно, что в этом случае происходит заполнение ГУ только в буферном слое. Характерный вид спектра σ -PCГУ для всех структур при таком способе заполнения приведен на рис. 1 (кривая 3). Видно, что ГУ, соответствующий пику $E2$, находится в *i*-GaAs. ГУ, соответствующий пику $E1$, идентичен по своим свойствам DX-центру в AlGaAs [4]. Зависимость положения пика $E1$ от величины поля, по-видимому, связана со сложной структурой DX-центра [5]. Интересно отметить полевую зависимость заполнения различных компонент DX-центра: первой заполняется низкотемпературная компонента, а при дальнейшем увеличении поля начинают заполняться и высокотемпературные компоненты.

Процессы, развивающиеся в более сильных полях, были изучены непосредственно в ППТ СЛ, изготовленных из исследуемых структур (длина затвора 0.25 мкм, расстояние исток—сток — 1–2 мкм), в рабочем режиме. На затвор подавалось напряжение, близкое к оптимальному для рабочих характеристик транзистора. Релаксация проводимости канала между истоком и стоком измерялась после приложения на них импульса напряжения до 2.0 В. Спектры σ_E -PCГУ уровней, на которые идет захват в ППТ СЛ в сильном поле, приведены на рис. 2. Так же, как и в беззатворных транзисторах, наблюдается разделение

ГПТ СЛ на два типа до ГУ, на которые идет захват электронов в сильном поле, соответствующее типу структуры, из которой изготовлен транзистор, что позволяет идентифицировать эти ГУ. В транзисторах, изготовленных из структур 1-го типа (захват на DX -центр), наблюдалось очень сильное изменение проводимости канала при действии импульсов электрического поля при температуре 230 К, что делало невозможным запись спектров σ_E -PCGU при более низких температурах. На рис. 2 (кривая 1) приведен характерный спектр σ_E -PCGU для таких транзисторов при окне эмиссии 20 мкс и расчетный для окна эмиссии 90 мс. Кривые 2 и 3 представляют собой характерные спектры для ГПТ СЛ, изготовленных из структур 2-го типа (захват в i -GaAs). В отличие от измерений в области полей <4 кВ/см в ГПТ СЛ наблюдается увеличение амплитуды пиков, изменение проводимости канала становится сравнимым с самой проводимостью при амплитуде заполняющего импульса 2 В и длительности 1 мкс. Это связано с тем, что в транзисторе из-за неоднородности канала (наличие затвора) максимальные электрические поля превышают 60 кВ/см, что приводит к увеличению интенсивности процессов инжекции и захвата. Как видно из приведенных результатов, вклад в изменение проводимости канала и соответственно рабочих характеристик транзисторов дают процессы захвата электронов как в AlGaAs, так и в буферный слой. Отметим, что этот вклад различен для разных структур.

Таким образом, предложенная методика позволяет выделить и определить параметры и расположение в пространстве ГУ, которые вносят основной вклад в ухудшение рабочих характеристик транзисторов. Методика σ_E -PCGU может быть также применена для изучения сильнополевых процессов не только в ГПТ СЛ, но и в других более сложных структурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ю. К. Пожела. Физика быстродействующих транзисторов, Вильнюс, 261 (1989).
- [2] G. N. Magacas, W. D. Laidig, H. R. Wittman. J. Vac. Sci. Techn., B2 (3), 599 (1984).
- [3] С. Н. Речкунов, В. Я. Принц. Приборы и техника эксперимента, 182 (1986).
- [4] D. V. Lang, R. A. Logan. Phys. Rev. Lett., 39, 635 (1977).
- [5] P. M. Mooney, T. N. Theis, E. Calleja. J. Electron. Mater., 20, 23 (1991).

Редактор В. В. Чалдышев

ФТП, том 26, вып. 12, 1992

ПЛЕНКА ЛЭНГМЮРА—БЛОДЖЕТТ В КАЧЕСТВЕ ДИЭЛЕКТРИКА В МДП ТРАНЗИСТОРЕ НА ОСНОВЕ $Cd_xHg_{1-x}Te$

А. В. Германенко, В. А. Ларионова, Г. М. Миньков, О. Э. Рут

Научно-исследовательский институт физики и прикладной математики при Уральском государственном университете им. А. М. Горького, 620083, Екатеринбург, Россия
(Получено 1.04.1992. Принято к печати 4.06.1992)

О возможности использования полимолекулярных слоистых структур Лэнгмюра—Блоджетт в качестве диэлектрика в МДП структурах на основе кремния сообщалось в [1]. Результаты предварительных исследований в системе $Cd_xHg_{1-x}Te$ —пленка Лэнгмюра—Блоджетт—Al приведены в работе [2].