

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ-РТУТИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРООТРАЖЕНИЯ И ХОЛЛА

Б.М. РУСТАМБЕКОВ, Ф.Х. МАМЕДОВ

Институт Физики им. академика Г.М. Абдуллаева НАН Азербайджана

A Z 1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33

İşdə tellur kadmiyum - civə epitaksial təbəqənin səthinin elektrikəkətmə və Xoll metodları ilə tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Nəticələr göstərir ki, yükdaşıyıcıların ionlaşmış aşqarlardan səpilməsi hesabına aşağı temperaturalarda yürüklüyün azalması, aşqarlanma səviyyəsi artdıqca defekt mərkəzlərin sıxlığının artması ilə müşayiət olunur. Nəzəri təhlil əsasında göstərilmişdir ki, elektrikəkətmə üçün alınmış nəticələr əks yürüklüyün sürətinin artmasına uyğun gəlir.

Представлены результаты исследования поверхности эпитаксиальной пленки теллурида кадмия-ртути методами электроотражения и Холла. Результаты показывают, что начальное снижение подвижности при низкой температуре, вызванное рассеиванием зарядов на ионизованной примеси, сопровождается увеличением плотности дефектных центров при повышении уровня легирования. Теоретическим анализом показано, что результаты электроотражения хорошо соответствуют скорости повышения обратной подвижности.

The surface of the epitaxial film of telluride cadmium-mercury was investigated by the electroreflection and Hall's methods and the results were given. The results show that the initial decrease of mobility under low temperature arising from the dispersion of charges on the ionized mixture is accompanied by magnifying the defect centre's density under the increase of the alloying level. The theoretical analysis shows, that the results of electroreflection well correspond to the back mobility rate increase.

I. Введение

Технология твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ), являющихся одним из основных материалов инфракрасной оптоэлектроники, продолжает развиваться и совершенствоваться. Это связано как с постоянным спросом на этот материал для военных и коммерческих применений, так и с уникальными свойствами КРТ, позволяющими использовать структуры на квантовых ямах на его основе для изучения физических эффектов и явлений, таких как квантовый эффект Холла, спин-орбитальное расщепление и т.п. [1-2]. Исследование легирования твердых растворов КРТ всегда шло параллельно с изучением поведения собственных дефектов в этом материале. Дефекты ввиду малой энергии образования в существенной степени определяют электрические, оптические и другие свойства КРТ. За последние десятилетия в технологии КРТ произошли существенные изменения, прежде всего, переходом от использования объемного материала к эпитаксиальным слоям (ЭС) и гетероструктурам на их основе.

Целью настоящей работы являлось исследование поверхности эпитаксиальной пленки КРТ, выращенной методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) [3] при диапазоне легирования индием $5 \times 10^{14} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (ростовое

легирование) на полупроводниковой подложке $Cd_yZn_{1-y}Te$.

Модуляционные спектры электроотражения [4,6,7,8,9] являются хорошим основанием для определения состава и дефектности поверхности эпитаксиальных пленок теллурида кадмия-ртути. Использование эффекта Холла позволяет получить надежную информацию о подвижности носителей заряда.

II. Эксперимент

Состав сплава x , а также величины $\Delta E_1/(\hbar\Omega)^3$, $\Delta\sigma^2/(\hbar\Omega)^3$ и Γ приняты из теоретических предположений относительно величины электроотражения E_0 при комнатной температуре в пределах спектра критических точек E_1 и $E_1+\Delta_1$, применяя обобщенную теорию [4-5]. Величина $\Delta E_1/(\hbar\Omega)^3$ используется для измерения плотности неоднородности деформации материала, а $\Delta\sigma^2/(\hbar\Omega)^3$ - для измерения плотности точечных дефектов.

Параметр ширины линий Γ (параметр уширения) отражает эффекты неоднородного уширения и рассеивания электронно-дырочных пар.

Значения, указанные в таблице 1 и рис.1 были получены при условии двумерности критической точки E_1 , как это обычно принято [4,5].

Таблица 1

№ Образца	Легировущ. уровень n см^{-3}	Холловская подвижность, $\mu(T)$ ($\text{см}^2/\text{Vx c}$)		Состав X	$\Delta E/(\hbar\Omega)^3$ (eV^{-2})	$\Delta\sigma^2/(\hbar\Omega)^3$ (eV^{-1})	Уширение Γ (me V)
		77к	300к				
1	8×10^{15}	$2,2 \times 10^5$	$2,3 \times 10^4$	0,175	0	0	94
2	$1,5 \times 10^{16}$	$4,7 \times 10^4$	$7,7 \times 10^3$	0,184	-19,1	-1,0	105
3	$2,5 \times 10^{16}$	$2,9 \times 10^3$	$2,2 \times 10^3$	0,205	-5,5	-1,1	232

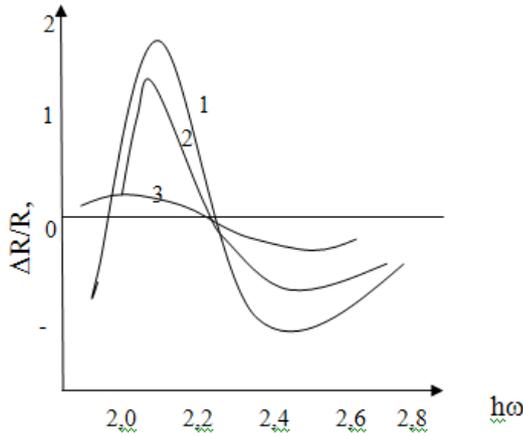


Рис. 1 1-1 образец, 2-2 образец, 3-3 образец

III. Анализ подвижности при эффекте Холла и уширения ЭО.

Для сравнения результатов измерений эффекта Холла и ЭО для анализа дефектов образцов, авторы сначала сравнили полученные результаты с предполагаемыми идеальными бездефектными образцами.

Авторы привели в соответствии опубликованные [5] расчеты подвижности в $Cd_xHg_{1-x}Te$ как функции состава x при $T=77K$ и $T=300K$.

Поскольку при этих расчетах рассеивание на дефектах не учитывалось за исключением дефектов, возникающих при легировании, авторы указывают на

окончательные расчетные величины $\mu(T, n, x)$ как идеальные величины подвижности.

Измеренная экспериментальным путем подвижность получена в бездефектных образцах. Таким образом, соотношение $\mu_{exp}(T)/\mu_{ideal}(T, n, x)$ позволяет определить требуемую величину качества образцов.

При $T=300K$, μ_{ideal} является независимой частью величины n при $n \leq 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и выражается как

$$\mu_{ideal}(300K, x) \approx 10^{3.1+0.076/[(x-0.08)(x-0.08)+0.05]} \text{ см}^2/Vc \quad (1)$$

где $n \geq 2 \times 10^{15}$, а μ_{ideal} при $T=77K$ равно

$$\mu_{ideal}(77K, n, x) \approx 10^{3.55+0.25/[(x-0.154)(x-0.154)+0.1044]} \text{ см}^2/Vc \quad (2)$$

При более высоких легирующих уровнях подвижность при $77K$ может быть значительно снижена, но каких-либо расчетов для таких случаев не существует. Значения μ_{ideal} и величина качества μ_{exp}/μ_{ideal} даны в таблице 2 при температурах $4,2K$ и $300K$ соответственно для трех рассматриваемых образцов. Процессы рассеивания, ограничивающие подвижность в идеальных кристаллах, линейно увеличиваются при переходе к дефектным образцам. Можно выразить обратную величину как сумму μ_{ideal}^{-1} и $\delta\mu^{-1}/\mu_{ideal}^{-1}$ приблизительно равной отношению скорости рассеивания, вызванной дефектами к скорости рассеивания идеального образца:

$$\mu_{exp}^{-1} = \mu_{ideal}^{-1} + \delta\mu^{-1} \quad (3)$$

Значения $\delta\mu^{-1}$ даны в таблице 2 при $T=300K$.

Таблица 2

№ Образца	Температура T	Идеальная Холловская Подвижность $\mu_{ideal}(\text{см}^2/Vc)$	Отношение изм. подвижно-ст. к идеальной μ_{exp}/μ_{ideal}	$\delta\mu^{-1} (Vc/\text{см}^2)$	$(\delta\mu^{-1})_{nd} (Vc/\text{см}^2)$	$(\delta\mu^{-1})_n (Vc/\text{см}^2)$	$\delta\Gamma$ (meV)
1	300K	$2,6 \times 10^4$	0,9	5×10^{-6}	5×10^{-6}	□ 0	3
2		$2,2 \times 10^4$	0,35	8×10^{-5}	8×10^{-5}	□ 0	14
3		$1,8 \times 10^4$	0,12	4×10^{-4}	4×10^{-4}	□ 0	143

Рассеивание, вызванное дефектами, может быть подразделено на две составляющие: рассеивание на ионизированной примеси и рассеивание на нейтральных дефектах, т.е.

$$\delta\mu^{-1} \approx (\delta\mu^{-1})_n + (\delta\mu^{-1})_{nd} \quad (4)$$

Первая из этих составляющих не имеет существенного значения при $300K$, если плотность ионизированных примесей меньше или порядка 10^{17} см^{-3} . Вторая изменяется прямо пропорционально температуре, как средняя скорость носителей. Грубый расчет величин $(\delta\mu^{-1})_n$ и $(\delta\mu^{-1})_{nd}$ также приведен в таблице 2 при $300K$.

Хотя параметр уширения Γ измерений ЭО слабо зависит от состава x , идеальный параметр уширения всех трех образцов рассматривается здесь в одних и тех же пределах 1 Мев . Результаты $\delta\Gamma = \Gamma_{exp} - \Gamma_{ideal}$ указаны в последней колонке таблицы 2.

Эти значения $\delta\Gamma$ должны быть приблизительно пропорциональны величинам $\delta\mu^{-1}$ при $T=300K$, потому что $\delta\Gamma$ и $\delta\mu^{-1}$ приблизительно пропорциональны скорости рассеивания, вызванной дефектами.

Полученные результаты означают, что в случае отклонения от условий выращивания, приближенных к идеальным, существуют, по меньшей мере, два механизма рассеивания вследствие дефектов при температуре $300K$, и, что оба механизма значительны уже во втором образце.

Второй механизм, который определяется как рассеиватель дефектов двумерной структуры, для рассеивания пар электрон-дырка в критической точке E_1 и становится доминирующим фактором рассеивания при $T=300K$ применительно к электронной проводимости. Авторы оценивают продолжительность рассеивания этих дефектов в пределах $4,6 \times 10^{-15}$ для пар электрон-дырка в критической точке E_1 образца № 3.

IV. Заключение

Величины подвижности $\mu(T)$ показывают, что отклонение от идеальных условий выращивания создает существенное рассеяние носителей заряда на ионизированных примесях и нейтральных дефектах. [6-11]

Полученные результаты ЭО объясняют физические причины резкого снижения подвижности носителей заряда, наблюдаемого при 300К в случае отклонения от идеальных условий роста.

Эти результаты указывают, что данные отклонения сначала создают неоднородные дефекты, возрастание которых приводит к нестабильности возникающих локализованных структур, которые затем, в результате образования дефектов двумерной структуры, начинают быстро ослабляться, т.к. плотность дефектов начинает быстро повышаться при достижении уровней насыщенного легирования.

Скорость возрастания уширения электроотражения хорошо соответствует скорости повышения обратной подвижности.

Результаты ЭО, полученные при комнатной температуре, не слишком взаимосвязаны с подвижностью при низких температурах.

Результаты слабополюсового электроотражения ЭО показывают, что начальное снижение подвижности при низкой температуре, вызванное рассеиванием зарядов на ионизированной примеси, сопровождается увеличением плотности противостоящих точек, причем плотность этих точек возрастает и, поэтому не реагирует на непрерывное резкое снижение подвижности при низкой температуре при повышении уровня насыщенного легирования [13-14].

-
- | | |
|---|--|
| <p>[1]. <i>Pogalski</i>; Infrared Phys. Technol., 43, 187 (2002)</p> <p>[2]. <i>В.П.Пономаренко</i>, УФН, 173, 649 (2003)</p> <p>[3]. <i>L.A. Denisov, V.M. Lakeenkov, O.K. Jouravlev</i>, T.Elektron mater, 27, 648 (1998)</p> <p>[4]. <i>P.M. Raccah, J.W. Garland and others</i>, Phys. Rev.Lett, 53, 1958 (1984)</p> <p>[5]. <i>P.M. Raccah, J.W. Garland and others</i>, Phys. Rev.Lett, 55, 1323 (1985)</p> <p>[6]. <i>В.А.Тягай, О.В.Спитко, Г.А.Федорус и др.</i>/Определение состава полупроводниковых твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ методом электроотражения / Изв. АН ССР, Неорганические материалы, 1976, 12, №8 с.1368-1372</p> <p>[7]. <i>A.Moritani, K.Taniguchi, C.Hamaguchi, J.Nakai</i>, /Electroreflectance measurements on $Cd_xHg_{1-x}Te$ - J.Phys.Soc.Jap.1973, 34, №1 p.79-81</p> <p>[8]. <i>М. Кардона</i> /Модуляционная спектроскопия/ М.Мир, 1972, с.416</p> <p>[9]. <i>В.А.Тягай, О.В. Спитко</i> /Электроотражение света в полупроводниках/ Киев «Наукова думка», 1980, с.302</p> <p>[10]. <i>V.J.Stafeev</i> ProsSiE, 4340, 240, (2000)</p> | <p>[11]. <i>В.П.Пономаренко, В.М. Филачев</i> Прикладная Физика, №1, 13 (2002)</p> <p>[12]. <i>Э.И.Велиюлин, Б.М. Рустамбеков.</i>, «Влияние внешних воздействий на дефектность поверхности и фоточувствительность теллуридов кадмия-ртути». Материалы Всесоюзной конференции «Фотоэлектрические явления в полупроводниках» Ташкент, 1989г.</p> <p>[13]. <i>А.М.Бродский, Р.М. Лазаренко-Маневич, А.Б. Эршлер</i> «Спектроскопические исследования границ раздела электрод-раствор //Сб.Высокие технологии в промышленности России (Материалы V Международной научно-технической конференции) Москва 1999 с.170</p> <p>[14]. <i>А.Ф. Белянин, М.И. Самойлович</i> // Нанотехнологии и полупроводниковые узкозонные твердые растворы $Cd_x Hg_{1-x}Te$ (Монографический сборник на основе пленарных докладов II Российского межрегионального симпозиума, Россия, Калуга, 15-17 марта, 2004г.), с.37-39 Калуга-Москва, МВТУ им.Н.Э. Баумана</p> |
|---|--|