

ФТП, том 24, вып. 12, 1990

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $Cd_xHg_{1-x}Te$, ПОДВЕРГНУТОГО ИОННО-ЛУЧЕВОМУ ТРАВЛЕНИЮ

Иванов-Омский В. И., Миронов К. Е., Мынбаев К. Д.

Известно, что ионно-лучевое травление (ИЛТ) узкощелевого p - $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) может приводить к инверсии типа проводимости материала, причем глубина инверсии зависит от дозы облучения [1-3, 5]. В последнее время этот эффект широко используется для создания фоточувствительных p - n -структур на основе КРТ [3, 4], однако вопрос о структуре и электрофизических свойствах материала, полученного в результате инверсии, остается открытым. К настоящему времени оказались достаточно подробно рассмотренными лишь свойства КРТ исходного n -типа проводимости, подвергнутого ИЛТ, а электрические свойства материала, переведенного посредством ИЛТ из p -типа в n -тип, практически не исследовались. Вместе с тем именно свойства n -КРТ, полученного инверсией, представляют интерес с точки зрения работы p - n -перехода, сформированного с помощью ИЛТ.

В настоящей работе приводятся результаты исследования воздействия пучка ионов Ar^+ с энергией 1.2 кэВ на поверхность эпитаксиальных слоев (ЭС) КРТ составов $x \sim 0.2 \div 0.6$ p -типа проводимости. Доза облучения образцов варьировалась в пределах $10^{16} \div 10^{18} \text{ см}^{-2}$. Исходные ЭС выращивались из растворов, обогащенных теллуром, и последующим термическим отжигом приводились к p -типу проводимости с концентрацией нескомпенсированных акцепторов $N_A - N_D = 5 \cdot 10^{15} \div 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Толщина слоев составляла ~ 30 мкм. Скорость травливания приповерхностного слоя материала при проведении процесса ИЛТ не превышала 30 \AA/мин [5].

На подвергнутых ИЛТ образцах измерялись на постоянном токе коэффициент Холла R_H и проводимость σ при послойном травлении ЭС с шагом $1 \div 1.5$ мкм. Кроме того, из исследования процессов релаксации фотопроводимости, возбужденной гетеролазером $AlGaAs$ с длиной волны излучения $\lambda \sim 0.9$ мкм, определялась величина времени жизни неосновных носителей заряда τ .

На рис. 1 представлены зависимости глубины залегания p - n -перехода h в образцах с различной исходной концентрацией $N_A - N_D$ от дозы облучения D . Зависимость $h(D)$, как следует из рис. 1, является нелинейной, а величина h уменьшается с возрастанием значения $N_A - N_D$ в исходном материале. При облучении образцов ЭС КРТ с $N_A - N_D = 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ глубина инверсии независимо от дозы облучения не превышала 0.5 мкм. Можно отметить, что в работе [2] предсказывалась обратная пропорциональность h величине $N_A - N_D$; вместе с тем полученная авторами [2] зависимость $h(D)$ была линейной.

На образцах ЭС КРТ с $x > 0.2$ [исследовались составы $x = 0.30, 0.45, 0.51$ и 0.58 с концентрацией $N_A - N_D = (2 \div 5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$] в результате ИЛТ было обнаружено только образование тонкого ($h < 0.5$ мкм) приповерхностного слоя n -типа, а эффект инверсии на большие глубины не наблюдался.

На рис. 2 представлены профили распределения носителей заряда в ЭС с $x \sim 0.2$ после проведения процесса ИЛТ. Эти зависимости получены в результате расчета «дифференциальных» (в стравленном слое) значений $R_H^{(i)}$ по гладким кривым, аппроксимирующим экспериментальные значения R_H . Видно, что

концентрация электронов n линейно убывает от поверхности в глубь образца и далее имеет постоянное значение, причем величина n в обеих областях возрастает с увеличением значения $N_A - N_D$ в исходных ЭС. Концентрация дырок в p -области сформированного $p-n$ -перехода совпадает, как видно из рис. 2, с исходным значением $N_A - N_D$ в ЭС до облучения.

Электрические свойства материала n -типа, полученного ИЛТ, можно рассмотреть на примере ЭС КРТ с $x=0.23$ и $N_A - N_D = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, подвергнутого облучению дозой 10^{18} см^{-2} . После облучения образца с поверхности химическим травлением было удалено ~ 6 мкм. Оказалось, что полученный материал характеризуется, кроме низкой концентрации электронов (рис. 1), высокими значениями их холловской подвижности $\mu_n \sim 2 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ и времени жизни $\tau \approx 2.3$ мкс. Для сравнения τ , измеренное на этом же образце (но после удаления химическим травлением только 2 мкм), составило 0.8 мкс (на рис. 1 эта точка соответствует области градиента концентрации). Электрофизические свойства p -области, остающейся под n -слоем после проведения процесса ИЛТ, как показали измерения, не отличаются от свойств исходного материала.

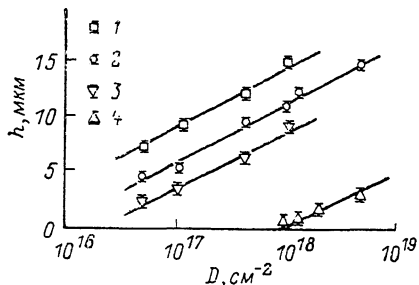


Рис. 1. Зависимость глубины залегания $p-n$ -переходов от дозы облучения. $N_A - N_D, \text{ см}^{-3}$: 1 — $5 \cdot 10^{15}$, 2 — $2 \cdot 10^{16}$, 3 — $5 \cdot 10^{16}$, 4 — $2 \cdot 10^{17}$.

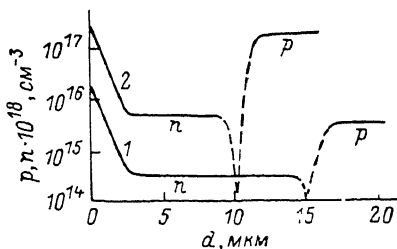


Рис. 2. Распределение концентрации носителей заряда по глубине образца. $N_A - N_D, \text{ см}^{-3}$: 1 — $5 \cdot 10^{15}$, 2 — $2 \cdot 10^{17}$.

Из приведенных экспериментальных данных следует, что в общем случае результатом ИЛТ ЭС КРТ p -типа проводимости является образование сложной n^+-n-p -структуры. Свойства тонкой (до 0.5 мкм) приповерхностной области определяются, очевидно, радиационными дефектами. На существование такого слоя указывалось также в работе [4]. Область градиента концентрации в свою очередь формируется под влиянием многих факторов. Помимо того что концентрация электронов в ней зависит от величины $N_A - N_D$ в исходном p -материале, здесь проявляется и ряд эффектов, возникающих под воздействием пучка ионов Ag^+ на поверхность ЭС. К ним могут быть отнесены явления, связанные с разогревом тонкого приповерхностного слоя материала при облучении, влияние заряда ионов аргона и т. п.

Область постоянной концентрации на рис. 2, очевидно, является наиболее интересным проявлением результатов ИЛТ КРТ. Здесь обращают на себя внимание два эффекта — возрастание концентрации электронов n в материале после инверсии с увеличением значения $N_A - N_D$ в исходном материале, а также низкая степень компенсации материала n -типа. Последнее обстоятельство подтверждает предположение авторов [2] и [4] о том, что формирование такого n -слоя обусловлено процессами рекомбинации собственных дефектов — вакансий и генерируемых в процессе ИЛТ межузельных атомов ртути. В этом случае эффект увеличения n в материале после ИЛТ с ростом $N_A - N_D$ в исходных образцах можно объяснить, если исходить из посылки, что образование собственных дефектов акцепторного типа влечет за собой одновременно и рождение дефектов донорного типа. Среди дефектов, удовлетворяющих закону действующих масс, такими могут быть, например, антиструктурные дефекты. Тогда под увеличением $N_A - N_D$ в исходном образце подразумевается рост как N_A , так и N_D , причем последняя величина определяется суммой концентраций

донорных дефектов, рожденных при генерации акцепторов, и примесного фона в образце. Рекомбинация вакансий — акцепторов с межузельными атомами ртути в процессе ИЛТ приводит к тому, что электрические свойства образца после инверсии определяются величиной N_D . Очевидно, что чем меньше величина $N_A - N_D$ в исходном образце, тем должно быть меньше дефектов донорного типа в нем, а следовательно, и в КРТ после инверсии. Именно такая закономерность наблюдается в эксперименте. В пределе уменьшения $N_A - N_D$ в исходном материале мы приходим к тому, что концентрация электронов в образце после инверсии определяется только примесным фоном.

Таким образом, электрофизические свойства материала n -типа проводимости, образующегося при ИЛТ ЭС КРТ ($x \sim 0.2$), определяются главным образом совокупностью собственных дефектов и примесного фона в исходном p -Cd_{1-x}Hg_xTe. В результате рекомбинации вакансий и генерируемых в процессе ИЛТ межузельных атомов ртути происходит формирование КРТ n -типа с низкой степенью компенсации и концентрацией электронов, определяемой примесным фоном образца.

Авторы искренне благодарны И. И. Ижнину и Ю. Н. Гаврилюку за помощь в постановке экспериментов.

Список литературы

- [1] Wotherspoon J. T. M. // U. S. Patent. 4.411.732. 1983.
- [2] Blackman M. V. et al. // Electron. Lett. 1987. V. 23. N 19. P. 978—979.
- [3] Bregowski P., Mucha H., Piotrowski J. // Phys. St. Sol. (a). 1989. V. 114. N 1. P. K37—K39.
- [4] Bahir G., Finkman E. // J. Vac. Sci. Techn. (A). 1989. V. 7. N 2. P. 348—353.
- [5] Миронов Е. К., Мынбаев К. Д., Гаврилюк Ю. Н., Ижнин И. И. // Тез. докл. Респ. конф. «Физика и химия поверхности и границ раздела узкощелевых полупроводников». Львов, 1990. С. 3.

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

Получено 31.07.1990
Принято к печати 17.08.1990