

15

35

УДК 621.315.592

© 1994 г. ВЛАСЕНКО А. И., ГНАТЮК В. А., КОПИШИНСКАЯ Е. П.,  
 КЛАДЬКО В. П., КРЫШТАВ Т. Г., ЛУКЬЯНЕНКО В. И.,  
 МОЗОЛЬ П. Е., СУКАЧ А. В.

## ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ $Cd_xHg_{1-x}Te$ ПРИ НАНОСЕКУНДНОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ

Методами рентгеновской топографии, дифрактометрии и электронно-зондового микроанализа исследовано влияние наносекундных импульсов излучения рубинового лазера на структуру и морфологию поверхности эпитаксиальных слоев  $Cd_xHg_{1-x}Te$ , имеющих области малой разориентации. Показано, что плавление и перекристаллизация при плотности энергии  $> 0,16$  Дж/см<sup>2</sup> происходят в приповерхностной области толщиной  $< 1$  мкм. В этой же области изменяется состав твердого раствора. Проанализирована связь наблюдавшегося ранее эффекта лазерного фотоочувствления исследуемых слоев с геттерирующим действием границ ячеек по отношению к точечным дефектам.

Использование твердого раствора кадмий — ртуть — теллур (КРТ) в качестве базового материала для изготовления фотоприемников в ИК-диапазоне обуславливает поиски путей улучшения его фотоэлектрических свойств [1]. Проведенные исследования воздействия наносекундных импульсов лазерного излучения (ИЛИ) на кристаллы, эпитаксиальные слои и пленки  $Cd_xHg_{1-x}Te$  выявляют существенную зависимость изменений фотоэлектрических, гальваномагнитных, зонных параметров от исходной структуры образцов. В частности, облучение КРТ вызывает уменьшение интенсивности сигнала фотопроводимости в структурно совершенных материалах [2, 3] и повышение фоточувствительности в эпитаксиальных слоях с ячеистой структурой [4]. Последний эффект наблюдается при действии ИЛИ как с плотностью энергии  $E$  допороговой, так и с  $E > E_0$ , приводящей к нарушению морфологии поверхности эпитаксиального слоя. В этом случае происходит изменение электрофизических параметров твердого раствора (уменьшение эффективной концентрации и рост подвижности электронов), что и обуславливает увеличение фотопроводимости.

Электрические свойства КРТ определяются системой точечных и протяженных дефектов, а также их взаимодействием [5—7]. Для выяснения причин модификации фотоэлектрических и электрофизических параметров и получения дополнительной информации о перераспределении компонентов твердого раствора, характере и глубине структурных изменений проводили исследования состава, морфологии поверхности, а также структуры приповерхностной области эпитаксиальных слоев КРТ, подвергнутых воздействию ИЛИ в диапазоне плотностей энергии, приводящих к фотоочувствлению.

### Методы исследования

Эпитаксиальные слои КРТ, полученные методом испарение — конденсация — диффузия на подложках высокоомного  $CdTe$  ориентации (111) имели ячеистую структуру, обусловленную исходным строением подложки. Области малой разориентации составляли  $\sim 20'$ . После отжига в парах ртути эпитаксиальные слои обладали  $n$ -типом проводимости с эффективной концентрацией электронов  $n_{эф}$

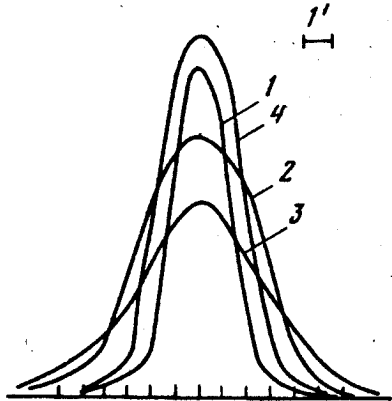


Рис. 4. Кривые дифракционного отражения эпитаксиального слоя КРТ до (1) и после облучения с плотностью энергии  $E$  (Дж/см<sup>2</sup>): 2 — 0,02, 3 — 0,32, 4 — 0,64

В рассматриваемом случае электронно-зондовый анализ облученной наносекундными ИЛИ ( $s E > E_n$ ) поверхности эпитаксиального слоя КРТ в различных точках, отмеченных на растровой электронной микрофотографии (рис. 2), не выявил неоднородностей, превышающих погрешность метода. При этом на поверхности эпитаксиального слоя образуется пленка Те [4], которая ввиду малой толщины не оказывает существенного влияния на измерения состава рентгено-спектральным методом, глубина информационного интегрального анализа которого  $\sim 3$  мкм.

На рис. 3, а приведена рентгеновская топограмма, отражающая ячеистую структуру эпитаксиального слоя КРТ до облучения на глубине  $\sim 20$  мкм. Размеры ячеек, расположенных преимущественно в направлении  $\langle 110 \rangle$ , составляют 0,1—0,2 мкм. Облучение с различной плотностью энергии не приводит к сколько-нибудь существенным изменениям в топограмме, что свидетельствует о неизменности структуры эпитаксиального слоя на глубине  $\sim 20$  мкм.

Топограмма, сформированная тем же участком эпитаксиального слоя КРТ с глубины  $\sim 3$  мкм, также выявляет дендритную структуру образца с той же ориентацией ячеек (рис. 3, б). Данный факт свидетельствует о столбчатой структуре слоя. Некоторое различие ячеек на снимках а и б вызвано, возможно, разными углами отражения рентгеновского излучения при снятии топограмм с 20 и 3 мкм. Границы ячеек исходного образца (рис. 3, б) имеют преимущественно белый контраст, что может быть вызвано скоплением в областях малой разориентации, в основном дислокацией с плотностью не больше  $\sim 10^7$  см<sup>-2</sup>.

Полуширина КДО от слоя до облучения (отражение 222) не превышает полуширину КДО от подложки и составляет  $\sim 3'$  (рис. 4, кривая 1). Состав приповерхностной области исходного образца, оцененный по интегральной интенсивности отраженного рентгеновского сигнала, коррелирует с измерениями, полученными при электронно-зондовом микроанализе поверхности, и соответствует  $x \approx 0,20$ .

После допорогового облучения ( $s E_1 = 0,02$  Дж/см<sup>2</sup>) образца полуширина КДО увеличивается в  $\sim 2$  раза (рис. 4, кривая 2), следовательно, на глубине  $\sim 3$  мкм возрастает разориентация ячеек. Их границы несколько уширяются и становятся более четкими, однородными (рис. 3, в), что может быть связано с увеличением плотности дислокаций на них, а также со скоплением примесей в областях малой разориентации. Отсутствие значительного роста интегральной интенсивности рентгеновского сигнала для отражений 111 и 333 свидетельствует в пользу доминирования последнего процесса. На это указывает и появление темных полос (недифрагирующие области) на топограмме облученного эпитаксиального слоя.

С процессом миграции точечных дефектов к границам связана, по-видимому, разориентация ячеек. Некоторое увеличение интегральной интенсивности отраженного рентгеновского сигнала (рис. 4, кривая 2) свидетельствует об уменьшении  $x$  состава приповерхностной области эпитаксиального слоя КРТ. Указанный

эффект, проявляющийся и в спектрах фотопроводимости [4], наряду со снятием напряжений может быть вызван диффундированием эпитаксиального слоя Hg из объема к поверхностному слою [12]. В условиях лазерного отжига коэффициенты диффузии собственных и примесных точечных дефектов могут возрастать на несколько порядков [13], обеспечивая тем самым возможность их миграции.

Облучение эпитаксиального слоя с плотностью энергии выше пороговой ( $E_2 = 0,32 \text{ Дж/см}^2$ ) приводит к увеличению поверхностного состава по сравнению с исходными образцами (интегральная интенсивность сигнала упала) и вызвано лазерной десорбцией ртути и частичным испарением ее из приповерхностной области эпитаксиального слоя. Избыточный теллур при этом выделяется на поверхности образцов в виде тонкой пленки [4]. Полуширина КДО (рис. 2, кривая 3) имеет тенденцию к уменьшению, что свидетельствует о стабилизации процессов сегрегации дефектов на области малой разориентации, укрупнении ячеек и меньшей их разориентации.

При дальнейшей обработке эпитаксиального слоя ИЛИ (с  $E_3 = 0,64 \text{ Дж/см}^2$ ) полуширина КДО несколько уменьшается (рис. 4, кривая 4), отражая повышение степени структурного совершенства приповерхностной области. Существенный рост интегральной интенсивности сигнала указывает на значительное изменение поверхностного состава, что связано, по-видимому, с частичной конденсацией на поверхности образца ртути из парового облака, наблюдавшегося в эксперименте и вызванного испарением ее при лазерной переплавке приповерхностного слоя [10].

Изменение на топограммах контраста ячеек облученных эпитаксиальных слоев (рис. 3, в и г) (из темно-светлых они становятся более серыми) свидетельствует об улучшении их однородности, возможно, вследствие очистки от примесей и точечных дефектов. Такие процессы могут быть обусловлены геттерирующими свойствами областей малой разориентации [6, 7], проявляющимися при воздействии мощных ИЛИ. Все это приводит к повышению структурного совершенства ячеек и является одной из причин роста фоточувствительности эпитаксиального слоя [4].

Увеличение информационной площади топограмм, сформированных с глубины 3 мкм облученного с различной плотностью энергии эпитаксиального слоя КРТ (рис. 3, в и г), вызвано релаксацией деформационных полей в приповерхностной области. Отсутствие значительной перестройки структуры свидетельствует о сохранении кристаллической фазы КРТ на глубине 1—2 мкм при воздействии наносекундных ИЛИ с  $E > E_n$ . Последнее подтверждается также отсутствием на топограммах «вуали», характерной для аморфных и сильно разупорядоченных структур. Плавление эпитаксиального слоя происходит в тонкой (порядка глубины поглощения лазерного излучения) приповерхностной области твердого раствора.

Таким образом, проведенные исследования позволяют утверждать, что воздействие наносекундных ИЛИ на эпитаксиальные слои КРТ, имеющие области малой разориентации, приводит к изменению точечно-дефектной структуры приповерхностной области. При  $E > E_n$  происходит плавление тонкого ( $< 1 \text{ мкм}$ ) поверхностного слоя, сопровождающегося распадом соединения, перераспределением компонентов в этом слое и изменением морфологии поверхности. Геттерирующие свойства границ ячеек служат определяющим фактором при лазерном фотоочувствлении образцов [4], обусловленным сегрегацией электрически активных примесей и собственных точечных дефектов на стоки (дислокации, области малой разориентации [6, 7]). Обработка эпитаксиального слоя КРТ с ячеистой структурой ИЛИ наносекундной длительности позволяет достичь повышения структурного совершенства твердого раствора, тем самым эффективно модифицировать электрофизические свойства материала.

1. Гирич Б. Г., Лакеенков В. М. // *Новости науки и техники*. 1990. Вып. 3. 59 с.
2. Вирт И. С., Любченко А. В., Мозоль П. Е., Гнатюк В. А. // *Физика и техника полупроводников*. 1989. Т. 23. № 8. С. 1386.
3. Гнатюк В. А., Карачевцева Л. А., Любченко А. В., Малошичко Э. А., Мозоль П. Е. // *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника*. 1992. Вып. 23. С. 53.
4. Гнатюк В. А., Власенко А. И., Друзь Б. Л., Лукьяненко В. И., Мозоль П. Е., Сукач А. В. // *Изв. РАН. Неорган. материалы*. 1992. Т. 28. № 12. С. 2399.
5. Горшков А. В. // *Высокочистые вещества*. 1989. № 6. С. 207.
6. Баранский П. И., Беллев А. Е., Городничий О. П., Комирченко С. М. // *Физика и техника полупроводников*. 1990. Т. 24. № 1. С. 121.
7. Любченко А. В., Мысливец К. А., Олих Я. М. // *Физика и техника полупроводников*. 1990. Т. 24. № 1. С. 171.
8. Пашаев Э. М., Каневский В. М., Пуцхванидзе А. А., Перегудов В. Н. // *Физика и техника полупроводников*. 1991. Т. 25. № 6. С. 220.
9. Vibilas L. O. // *J. Cryst. Growth*. 1988. V. 88. № 1— P. 723.
10. Голошихин П. В., Миронов К. Е., Поляков А. Я. // *Поверхность*. 1991. № 12. С. 12.
11. Загинец А. А., Котлярчук Б. К., Курило И. В., Пляцко Г. В., Савицкий В. Г. // *Поверхность*. 1986. № 6. С. 76.
12. Талипов Н. Х., Попов В. Н., Ремесник В. Г., Налькина З. А. // *Физика и техника полупроводников*. 1992. Т. 26. № 2. С. 310.
13. Воронков В. П., Гурченко Г. А. // *Физика и техника полупроводников*. 1990. Т. 24. № 10. С. 1831.

Институт полупроводников АН Украины,  
Киев

Поступила в редакцию  
23.XII.1992

Принята в печать  
13.I.1993

VLASENKO A. I., GNATYUK V. A., KOPISHINSKAYA Y. P.,  
KLADKO V. P., KRISHTAB T. G., LUKYANENKO V. I.,  
MOZOL P. Y., SUKHACH A. V.

### MODIFICATIONS OF STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF THE SURFACE OF EPITAXIAL LAYERS $Cd_xHg_{1-x}Te$ UNDER NANOSECOND LAZER RADIATION

We have studied the epitaxial layers  $Cd_xHg_{1-x}Te$  which had regions with small deorientation. The influence of irradiation with ruby laser emission nanopulses on surface structure of layers was investigated by methods of X-raying, diffractometry and electron microanalyse. It has been shown that melting and recrystallisation take place in the near-surface region of the crystal with effective thickness above  $1 \mu m$  under irradiation with power density more than  $0.16 J/sm^2$ . Solid solution composition changes in this region too. The connection between increasing of photosensitivity of these layers and cell's boundaries action as point defects getter has been analysed.