

центра с последующей рекомбинацией их с электронами на s -центрах безызлучательной рекомбинации. В этом случае энергия активации температурного тушения E_T будет равна энергетическому расстоянию уровня центра ФЛ от валентной зоны. Такие глубокие дырочные центры в интервале $E_v + (0.4-0.48)$ эВ действительно наблюдаются в теллуриде кадмия [5, 6].

Список литературы

- [1] Крусток Ю. И., Лью А. Э., Пийбе Т. Э. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 10. С. 1888—1891.
- [2] Физика соединений $A^{II}B^{VI}$ / Под ред. А. Н. Георгобнани, М. К. Шейнкмана. М., 1986. 320 с.
- [3] Ermolovich I. B., Matvievskaja G. I., Sheinkman M. K. // J. Luminescence. 1975. V. 10. P. 58—68.
- [4] Физика и химия соединений $A^{II}B^{VI}$ / Под ред. С. А. Медведова. М., 1970. 624 с.
- [5] Ризаханов М. А., Абрамов И. Я. // ФТП. 1981. Т. 24. В. 5. С. 1042—1044.
- [6] Takabe T., Saraie J., Matsunami H. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 1. P. 457—469.

Таллинский технический университет

Получено 28.01.1991

Принято к печати 21.03.1991

ФТП, том 25, вып. 7, 1991

ВОЗНИКНОВЕНИЕ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЗА ГРАНИЦЕЙ АМОРФИЗИРОВАННОЙ ОБЛАСТИ, СОЗДАННОЙ В GaAs ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Алеценко Ю. А., Водопьянов Л. К.

Имплантация ускоренных ионов формирует область распределения примесей и дефектов с резкой границей, определяемой размерами пучка ионов и их энергией. Увеличение этой области возможно за счет эффекта каналирования. Однако существенное изменение электрофизических параметров наблюдалось на значительно больших расстояниях от подвергнутой ионной имплантации области полупроводника. Подобные эффекты ранее были обнаружены в ионно-имплантированном алмазе [1], а также в кремнии, подвергнутом ионной имплантации, плазменному травлению или лазерному отжигу [2—5]. Выяснение причин проявлений этих эффектов существенно для такой задачи микроэлектроники, к повышению плотности размещения активных элементов планарных интегральных схем.

В настоящей работе методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света исследовалась модификация фононных спектров монокристалла GaAs на расстояниях до 0.5 мм от границы области, в которую имплантировались ионы Ag^+ с энергией 100 кэВ и дозой 5×10^{14} см $^{-2}$. В эксперименте использовался GaAs в виде эпитаксиальных пленок толщиной 3 мкм с проводимостью n -типа и концентрацией электронов 10^{15} и 10^{16} см $^{-3}$, выращенных на n^+ -подложке, а также объемный полуизолирующий материал. Часть образца во время имплантации закрывалась маской. Спектры КР при комнатной температуре возбуждались от плоскости (100) GaAs излучением Ag^+ -лазера с длиной волны 488 нм. Для улучшения отношения сигнал/шум измерения проводились в геометрии «на отражение» под углом Брюстера. Глубина проникновения возбуждающего излучения в образец (~ 100 нм) соответствовала толщине слоя GaAs с имплантированными ионами.

Обнаружено существенное отличие спектров по обе стороны от границы раздела исходной и подвергнутой ионной имплантации областей (рис. 1). В первой области спектры типичны для кристаллического GaAs и содержат интенсивную LO-моду, к которой в спектрах пленки добавляется слабая полоса TO-фонона, запрещенного правилами отбора в строгой геометрии обратного

рассеяния от плоскости (100) и проявляющегося, вероятно, из-за отклонения от этой геометрии в рассматриваемом случае. Спектр КР за границей раздела характерен для аморфного GaAs и отражает фоновую плотность состояний.

На рис. 2 представлены зависимости положения LO -моды в спектрах КР и ее полуширины от расстояния до границы аморфизированной области GaAs. Измерения проводились в части образца, прикрытой при имплантации маской, с шагом 125 мкм при поперечнике сфокусированного на образце лазерного луча

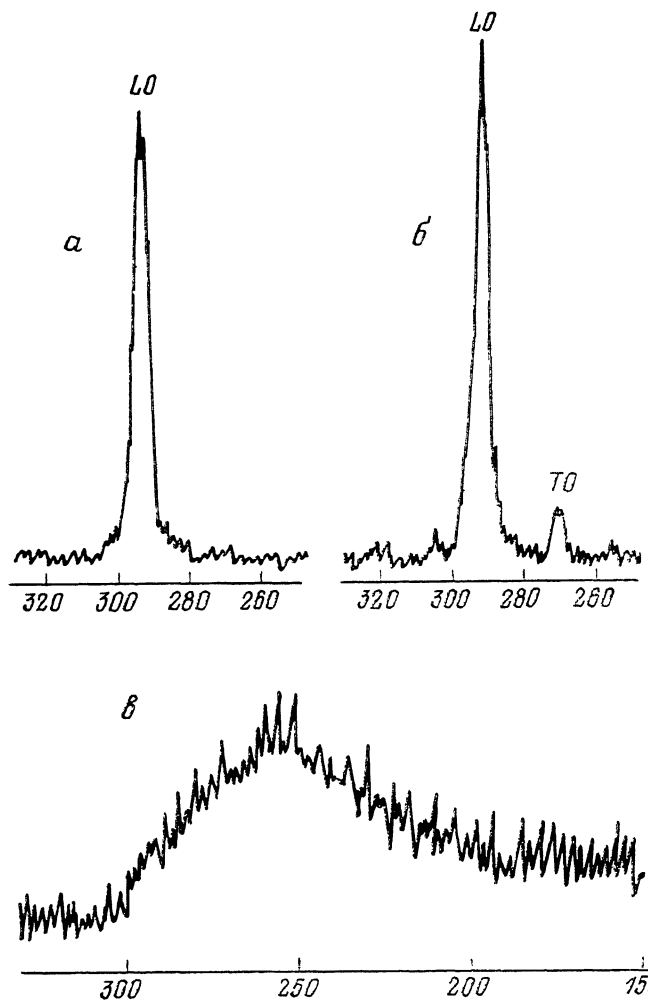


Рис. 1. Спектры КР объемного образца (а) и эпитаксиальной пленки GaAs (б) вне области, подвергнутой имплантации ионов Ag, и в ионно-имплантированной области (в).

~50 мкм. Как видно из рисунка, по мере приближения к границе со стороны исходной области имеют место монотонный «красный» сдвиг LO -пика и его уширение. Одновременно происходит и сопоставимое снижение частоты TO -моды в спектрах КР пленки GaAs. Вместе с тем нами не отмечено увеличение интенсивности TO -пика по отношению к интенсивности LO -полосы в спектрах пленки при приближении к границе аморфизированной области.

Наблюдаемые особенности не могут быть объяснены механизмами миграции дефектов. Действительно, согласно модели пространственной корреляции [6], радиационные дефекты приводят к тому, что длина корреляции для фононов становится конечной вследствие нарушения правил отбора по импульсу. В результате происходит низкочастотный сдвиг LO -моды, положение же TO -моды GaAs практически не изменяется в силу ее малой дисперсии в зоне Бриллюэна.

Однако в спектрах КР эпитаксиальной пленки нами зарегистрирован низкочастотный сдвиг и TO -моды, а также не обнаружено роста ее интенсивности по мере приближения к границе аморфизированной области, которого следовало бы ожидать при снятии запрета по симметрии на TO -моду с ростом степени дефектности кристалла.

С учетом вышеизложенного более последовательным представляется объяснение наших данных механическими напряжениями. Их источником может служить отличие структур аморфного и кристаллического GaAs. Для оценки упругих напряжений в кристалле использовались соотношения, полученные в экспериментах по воздействию на GaAs гидростатического давления и связы-

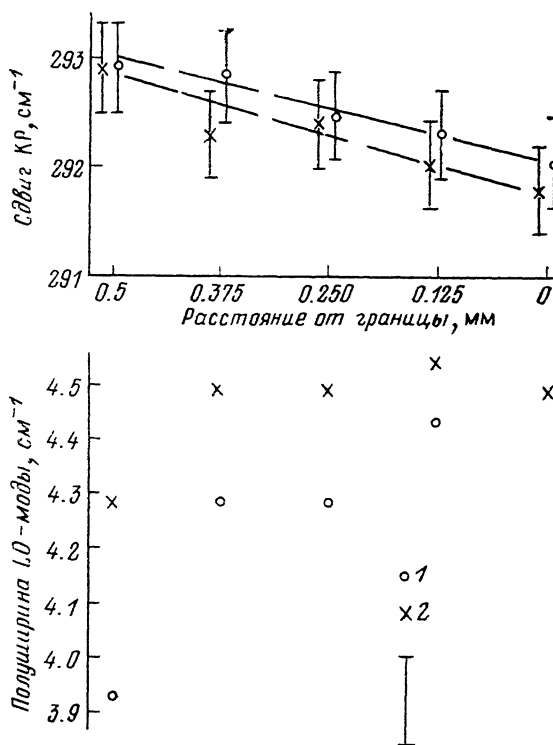


Рис. 2. Зависимости сдвига полосы LO -моды и ее полуширины от расстояния до границы аморфизированной области для пленки (1) и объемного образца GaAs (2).

Точка с координатой 0 вплотную примыкает к границе аморфизированной области.

вающие сдвиги LO - и TO -мод в спектрах с относительным изменением постоянной решетки $\Delta a/a_0$ [7]:

$$\begin{aligned} \Delta\omega_{LO} &= 1.07 \cdot 10^3 (-\Delta a/a_0) - 2.84 \cdot 10^3 (-\Delta a/a_0)^2, \\ \Delta\omega_{TO} &= 1.12 \cdot 10^3 (-\Delta a/a_0) - 2.28 \cdot 10^3 (-\Delta a/a_0)^2, \\ P &= (B_0/B'_0) ((a_0/a)^{3B_0'} - 1), \\ -\Delta a/a_0 &= 1 - a/a_0, \end{aligned}$$

где B_0 — объемный модуль упругости ($B_0=72.5$ ГПа для GaAs), B'_0 — его производная по давлению ($B'_0=4.67$), P — механическое напряжение. Используя сдвиг LO -моды, показано, что в кристаллической области объемного материала и эпитаксиальной пленки GaAs имеет место деформация растяжения, которая возрастает до значений -0.24 и -0.18 ГПа соответственно по мере приближения к границе аморфизированной области. В рамках представлений о генерации механических напряжений при аморфизации прилегающей к подвергнутой ионной имплантации области GaAs находят объяснение зарегистрированное изменение частот колебательных мод GaAs на макроскопических расстояниях от границы раздела и уширение полосы LO -моды. В частности, последнее может быть

объяснено неоднородностью механических напряжений. По нашим данным она составляет $\sim 4.4 \cdot 10^{-2}$ для объемного образца и $\sim 8.3 \cdot 10^{-2}$ ГПа в случае эпитаксиальной пленки.

При использовании сдвига слабой полосы TO -моды, проявившейся в спектрах КР эпитаксиальной пленки GaAs, также проведена оценка механических напряжений в кристаллической области GaAs. Установлено, что они имеют тот же порядок величины, что и оцененные по сдвигу LO -моды. Это обстоятельство служит дополнительным подтверждением справедливости предложенной интерпретации.

Таким образом, в данной работе показано, что аморфизация GaAs при ионном внедрении сопровождается распространением растягивающих напряжений за границу аморфизированной области в кристаллический материал на расстоянии ~ 1 мм, и оценены величины этих напряжений.

Авторы благодарят В. С. Вавилова и Г. Н. Галкина за обсуждение, а А. В. Спицына и В. А. Дравина за имплантацию.

Список литературы

- [1] Вавилов В. С., Гусева М. и др. // Препринт ФИ АН СССР. М., 1969.
- [2] Зорин Г. В. и др. // Ионная имплантация в полупроводниках и других материалах. Вильнюс, 1986. С. 276—283.
- [3] Артамонов В. В., Валах М. Я., Романюк Б. Н. и др. // Письма ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 6. С. 72—76.
- [4] Lee Y. H. et al. // J. Rad. Eff. Def. Sol. 1989. V. 111-112. P. 221.
- [5] Polyandinov A. V., Yanushkevich V. A., Ivanov L. J., Gurov K. P. // Rad. Eff. Exp. 1989. V. 2. N 5-6. P. 165.
- [6] Tieng K. K., Amirtharaj P. M., Pollak F. H., Aspnes D. E. // Appl. Phys. Lett. 1984. V. 44. N 1. P. 122—124.
- [7] Trommer R., Muller H., Cardona M. // Phys. Rev. B. 1980. V. 21. N 10. P. 4869—4878.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
АН СССР
Москва

Получено 4.03.1991
Принято к печати 21.03.1991