

06.2; 11; 12

© 1992

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ОТЖИГ ПЛАСТИН $GaAs$,
ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ O^+ Н.Л. Д м и т р у к, Е.Ф. В е н г е р,
А.В. Г о н ч а р е н к о, М.Ю. П е л ю с о в а

В нашей работе [1] исследовано влияние ионной имплантации кислорода в сильнолегированный $n-GaAs$ с целью управления концентрацией свободных носителей тока в приповерхностной области и создания скрытых полуизолирующих слоев. Методами ИК-отражения и НПВО установлено, что в зависимости от энергии ионов и дозы облучения ионно-компенсированные образцы могут быть моделированы двух- или трехслойной моделью, в которой полуизолирующий (компенсированный) слой располагается, соответственно, на поверхности или в глубине образца. Особо подчеркиваются преимущества метода НПВО перед внешним отражением, обусловленные более сильной приповерхностной локализацией поверхностных плазмон-фононных поляритонов (точнее, их высокочастотной ветви, расположенной выше частоты ω_{TO} поперечного оптического фонона). Большая чувствительность методики НПВО позволяет обнаруживать тонкие эффекты пост-имплантационного процесса, в данном случае, низкотемпературный или самоотжиг имплантированных пластин в процессе их хранения при комнатных условиях.

В настоящей работе изучался самоотжиг пластин n^+-GaAs , компенсированных ионами O^+ (параметры имплантации приведены в таблице). С этой целью проводились измерения спектров НПВО образцов непосредственно после имплантации, через год и еще через 9 месяцев хранения в затемненном месте при комнатной температуре.

На рис. 1 представлены рассчитанные по теории ЛШШ [2] распределения ионов O^+ , а также протяженности полностью компенсированных слоев в исследованных образцах 1-6. Отметим, что на практике протяженность компенсированных (полуизолирующих) слоев была в 2-2.5 раза больше [1]. Подобное превышение протяженности ионно-легированной области над расчетной наблюдалось ранее и при имплантации в $GaAs$ ионов Si^+ [3]. Это превышение над расчетным значением по теории ЛШШ $d \approx \bar{R}_p + 3\Delta\bar{R}_p$ (\bar{R}_p - средний проецированный пробег ионов, $\Delta\bar{R}_p$ - его страгглинг) может быть обусловлено как каналированием ионов O^+ , так и компенсацией материала акцепторными дефектами, создаваемыми этими ионами в процессе имплантации. По имеющимся данным, явление компенсации проводимости в данном случае в большей мере связано с дефектами, чем с примесью (для неотожженных образцов) [4].

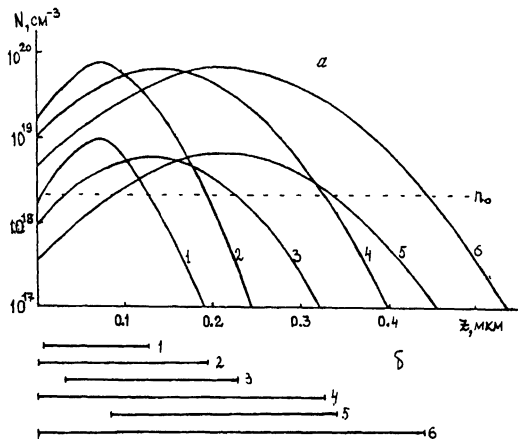


Рис. 1. а) распределение ионов O^+ по глубине образцов (расчет по теории ЛШШ), n_0 - концентрация носителей тока в $GaAs$ до имплантации; б) схематически показана протяженность полуизолирующих слоев в образцах 1-6.

Спектроскопия НПВО была применена как метод, позволяющий изучать поведение плазмон-фононных поверхностных поляритонов (ПП) исследуемого полупроводника [5], а по ним судить о миграции (отжиге) радиационных дефектов. Частотная зависимость эффективного показателя преломления $n_{eff} = k_x c / \omega$ (k_x - волновое число ПП, ω - его частота) плазмон-фононных ПП исходного (неимплантированного) n^+ - $GaAs$ проходит правее экспериментальных кривых, представленных на рис. 2 (рассматриваемому интервалу n_{eff} соответствуют частоты ПП исходного образца $380-430 \text{ см}^{-1}$). Наличие на поверхности полуизолирующего (компенсированного) слоя снижает частоту ПП, причем это снижение тем больше, чем протяженнее полуизолирующий слой. Как видим, с течением времени происходит обратный сдвиг зависимостей $n_{eff}(\omega)$ в высокочастотную область, что соответствует снижению эффекта компенсации (уменьшению толщины полуизолирующего слоя). При этом можно выделить 3 группы образцов, а именно: 1) образцы 1, 2, имплантированные низкоэнергетическими ионами; их минимумы в спектрах НПВО смещаются на $10-14 \text{ см}^{-1}$, что на порядок величины превышает спектральное разрешение прибора. Необходимо отметить, что образцы 1, 2 не допускают при описании их оптических свойств аппроксимации макроскопической диэлектрической функции одноступенчатой моделью [1], что мы связываем с необходимостью учета находящегося непосредственно вблизи поверхности переходного слоя; 2) образцы 3, 4 и 6, характеризующиеся высокочастотным сдвигом $n_{eff}(\omega)$ уже в меньшей степени ($2-6 \text{ см}^{-1}$); 3) образец 5 со скрытым полуизолирующим слоем. Его зависимость $n_{eff}(\omega)$ изменяется не только в результате сдвига по ω , но также и вследствие изменения

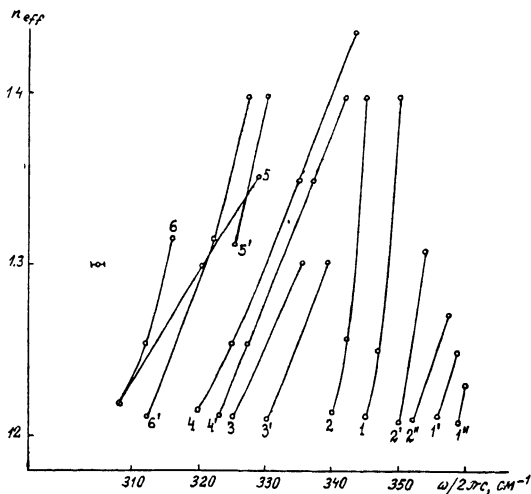


Рис. 2. Частотные зависимости $n_{eff}(\omega)$ непосредственно после имплантации (1-6), через год (1'-6') и еще через 9 месяцев после имплантации (1''-2'').

Параметры имплантации исследуемых образцов

№ обр.	1	2	3	4	5	6
Эн. O^+ ионов, кэВ	50	50	100	100	150	150
Доза, $см^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{14}$	$1.2 \cdot 10^{15}$	$1.2 \cdot 10^{14}$	$1.2 \cdot 10^{15}$	$1.2 \cdot 10^{14}$	$1.2 \cdot 10^{14}$

своей кривизны (групповой скорости ПП), что приводит к пересечению кривых 5 и 5'.

Анализ смещения зависимостей $n_{eff}(\omega)$ показывает, что ни доза имплантации, ни энергия ионов не являются единственными определяющими факторами последующего самоотжига. Такое усложнение ситуации, очевидно, обусловлено сложной структурой отражающей системы, толщины слоев которой имеют тот же порядок, что и глубина локализации ПП. Характерно, что самоотжиг наиболее ярко выражен для образцов 1, 2, отличающихся поверхностной локализацией поврежденной области. Такой самоотжиг может осуществляться путем стока дефектов на поверхность кристалла. Если указанный механизм принять за основу, то для коэффициента диффузии дефектов получается оценка $10^{-17}-10^{-18}$ $см^2/с$. Образец 5 сложен для интерпретации, поскольку на поверхности сохраняется протяженный экранирующий слой с проводимостью n -типа, к тому

же с измененной подвижностью электронов. Что касается образцов 3, 4 и 6, в которых самоотжиг проявляется слабо, то это может быть связано с уменьшением отношения глубины локализации ПП δ к толщине компенсированного слоя d в связи с увеличением энергии O^+ -ионов. При объяснении природы наблюдаемого самоотжига следует учесть, что ионно-имплантированные образцы (в особенности при больших дозах и энергиях ионов) представляют собой метастабильные системы, релаксация которых к более равновесному состоянию может происходить даже при сравнительно низких температурах.

Кроме того, известно, что в отличие от Si , твердофазный отжиг $GaAs$ проходит как сложный многостадийный процесс в широком температурном интервале [6, 7]. При низких температурах (стадии 235 и 280 К) осуществляется в основном отжиг близких пар путем движения изолированных собственных дефектов. При этом надо учитывать, что в материалах $A^{III}B^V$ кроме вакансионных и междоузельных точечных дефектов важную роль играют и антиструктурные дефекты [8]. Что касается примесей, то влияние их миграции на свойства $GaAs$ начинает сказываться лишь при температурах выше 500 К. Однако при облучении тяжелыми частицами или высокоэнергетичной ионной имплантации существенную роль могут играть кластеры дефектов, которые являются более термически стабильными образованиями, чем точечные дефекты. Для конкретизации механизмов отжига и миграции дефектов в $GaAs$ вообще, и при низких температурах в частности, необходимы дополнительные исследования.

Таким образом, в работе впервые методом спектроскопии поверхностных поляритонов наблюдался самоотжиг ионно-компенсированных кислородом образцов n^+-GaAs при комнатной температуре, связываемый с их метастабильностью и миграцией собственных дефектов или комплексов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Венгер Е.Ф., Гончаренко А.В., Дмитрук Н.Л., Пелюсова М.Ю., Прокофьев А.Ю., Фидря Н.А. // УФЖ. 1992. Т. 37. № 5. С. 788-795.
- [2] Lindhard J., Scharf M., Schiätt H. // Mat. Fysic. Meddl. Dan. Vid. Solsk. 1963. V. 33. N 14. P. 1-42.
- [3] Дмитрук Н.Л., Литовченко В.Г., Николаева Т.Н. // ФТТ. 1981. Т. 23. № 9. С. 2630-2633.
- [4] Таунсенд А.Д. В сб.: Ионная имплантация / Под ред. Дж. К. Хирвонена. М.: Металлургия, 1985. 391 с.
- [5] Дмитрук Н.Л., Литовченко В.Г., Стрижевский В.Л. Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. Киев: Наукова думка, 1989. 375 с.

- [6] Л а н г Д.В. В сб.: Радиационные дефекты в соединениях АШВУ / Под ред. Болтакса Б.И., Машовец Т.В., Орлова А.Н. М.: Мир, 1979. 379 с.
- [7] Ионная имплантация и лучевая технология / Под ред. Дж.С.Вильямса и Дж. М. Поута. Киев: Наукова думка, 1988. 358 с.
- [8] Г е о р г о б и а н и А.И., Т и г и н я н у И.М. // ФТП. 1988. Т. 22. № 1. С. 3-15.

Институт полупроводников
АН Украины

Поступило в Редакцию
20 июля 1992 г.