

06;11;12

СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ СУЛЬФИДНОЙ ПАССИВАЦИИ

© С.Г.Ершов, А.Ф.Иванков, В.В.Кораблев, В.Ю.Тюжин

Наиболее перспективным методом снижения скорости поверхностной рекомбинации S для GaAs является метод сульфидной пассивации [1]. Традиционно пассивация поверхности GaAs проводится в водных или этиленгликолевых растворах сульфидов. Однако использование спиртов в качестве растворителей сульфида натрия приводит к более эффективной пассивации GaAs с точки зрения его фотолюминесцентных свойств [2,3].

В данной работе сравниваются скорости поверхностной рекомбинации GaAs, обработанного в растворах сульфида натрия на основе различных растворителей.

Подобная информация в литературе отсутствует; в то же время сведения о скорости поверхностной рекомбинации представляют большой интерес не только для понимания ряда фундаментальных физических явлений, но и для прикладной области, связанной с применением подобных поверхностей в полупроводниковых приборах и устройствах.

Изменение S полупроводника тесно связано с его фотолюминесцентными свойствами. Поэтому в качестве параметра, характеризующего S , использовалась интенсивность фотолюминесценции I_{pl} . Возбуждение фотолюминесценции производилось излучением Хе лазера ($p \approx 1$ Вт, $\lambda = 652.8$ нм), спектры фотолюминесценции снимались на монохроматоре ДФС-12 при комнатной температуре.

Обработка поверхности GaAs ($n = 4 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$) производилась путем погружения полупроводника в насыщенный раствор сульфида натрия Na $_2$ S, время экспозиции составляло 1 мин. В качестве растворителей Na $_2$ S использовались: вода, этиленгликоль, этанол, изопропанол, бутанол, трет-бутанол.

Анализ спектров фотолюминесценции GaAs позволил установить, что сульфидная обработка не изменяет форму и положение максимума краевой фотолюминесценции, в то же время происходит значительное возрастание ее интенсивности I_{pl} . Следует отметить, что при обработке полупроводника в любом из перечисленных растворителей не происходит изменение I_{pl} . Экспериментальные данные об

I_{pl} (см. таблицу) в совокупности с литературными [4,5] свидетельствуют о возникновении сульфидного покрытия на поверхности GaAs, а роль растворителя в этих экспериментах сводится к изменению энергетического состояния сульфид-иона, что приводит к зависимости свойств пассивированной поверхности от свойств растворителя [3].

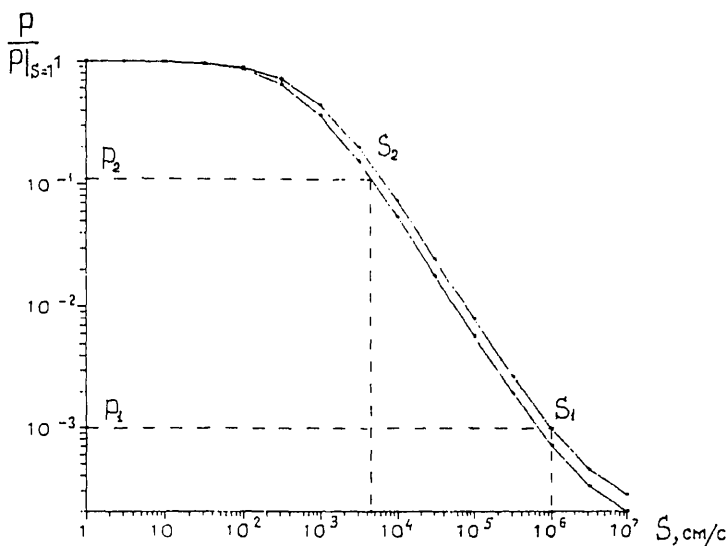
Изменение фотолюминесцентных свойств полупроводника после химической обработки можно объяснить, оценив изменение S его поверхности. Для этого решалось диффузионное уравнение движения для неравновесных носителей, возбуждаемых светом, с учетом их рекомбинации на поверхности.

Пространственное распределение неравновесных носителей $\Delta p(x)$, генерируемых светом, имеет характерный размер, определяемый коэффициентом поглощения света α . При $h\nu = 1.89$ эВ ($\lambda = 652.8$ нм) для GaAs $\alpha \approx 4 \cdot 10^4$ см $^{-1}$, т. е. глубина генерации неравновесных носителей составляет около 2500 Å. Ширина же области пространственного заряда (ОПЗ) L , определяемая концентрацией легирующей примеси, для GaAs $n = 4 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$ составляет около 4600 Å. Таким образом, процессы генерации и рекомбинации неравновесных носителей в нашем случае происходят только в области поля ОПЗ. Далее мы ограничимся случаем, когда потенциал ОПЗ аппроксимируется линейной зависимостью $U(x) = U_s - Ex$, где E — электрическое поле в ОПЗ, а U_s — изгиб энергетических зон на поверхности. Такой потенциал, естественно, в действительности не имеет места, однако учет правильной формы потенциального барьера не оказывает существенного влияния на распределение неравновесных носителей [6], а для сравнительной оценки вообще не столь важен.

Тогда задача о распределении неравновесных носителей сводится к решению стандартного диффузионного уравнения [7] с граничным условием, определяющим величину S . Интенсивность фотолюминесценции, пропорциональная числу неравновесных носителей P , имеет вид:

$$I_{pl} \sim P = \int_0^{\infty} \Delta p(x) dx = \frac{G_0 \tau_p}{\alpha^2 L_p^2 + \alpha \tau_p E \mu_p - 1} \times \\ \times \left[\frac{L_p^2 \alpha + S \tau_p}{L_p^2 C + S \tau_p} \cdot \frac{1}{C} - \frac{1}{\alpha} \right],$$

где $C = (E^2 e^2 / (4k^2 T^2) + L_p^{-2})^{1/2} - Ee / 2kT$, τ_p — время жизни, μ_p — подвижность, L_p — диффузионная длина для дыр-



Расчет числа неравновесных носителей в зависимости от скорости поверхностной рекомбинации для n -GaAs ($n = 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$): a — исходная поверхность ($U_s = 410 \text{ мэВ}$; $\Delta U = 270 \text{ мэВ}$); b — поверхность, обработанная в $\text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ ($U_s = 605 \text{ мэВ}$, $\Delta U = 420 \text{ мэВ}$).

ки. Характерной особенностью нашего случая является то, что все носители генерируются в поле ОПЗ и влияние поля может резко увеличить их приток к поверхности с последующей рекомбинацией. Поэтому корректный учет поля чрезвычайно важен для правильной оценки параметра S . Для этого учитывались следующие два обстоятельства. Во-первых, химическая обработка приводит к изменению U_s исходной поверхности; во-вторых, при возбуждении фотолюминесценции величина U_s изменяется на ΔU вследствие эффекта фото-ЭДС. Поскольку изгиб зон определяет поле в ОПЗ, то изменение его величины вследствие химической обработки и эффекта фото-ЭДС будет приводить к изменению P , и для правильной оценки S необходимо учесть оба фактора. Для этого производилось измерение U_s и ΔU как на исходных, так и на обработанных полупроводниках.

Величина U_s определялась из зависимости фото-ЭДС от интенсивности света методом контактной разности потенциалов [8] и отождествлялась с величиной насыщения фото-ЭДС. Далее производилось вычисление P в зависимости от S со значением E , определяемым величиной $U_s - \Delta U$ для исходного и обработанного GaAs. Пример вычисления S приведен на рис. 1. Для вычислений мы использовали значение S_1 для исходной поверхности, равное 10^6 см/с [9]. По

№ п.п.	Химическая обработка	Интенсивность фото- люминесценции I_{pl} , отн. ед.	S
			$S(H_2O + Na_2S)$
1	$H_2O + Na_2S$	110	1
2	$C_2H_4(OH)_2 + Na_2S$	250	0.37
3	$C_2H_5OH + Na_2S$	335	0.31
4	$C_3H_7OH + Na_2S$	390	0.25
5	$C_4H_9OH + Na_2S$	515	0.19
6	$t-C_4H_9OH + Na_2S$	570	0.17

значению S_1 определяем $P_1 = 9.95 \cdot 10^{-4}$ отн. ед. для исходной поверхности. Для обработанного полупроводника (см. таблицу, $H_2O + Na_2S$) интенсивность фотолуминесценции увеличилась в 110 раз, следовательно, $P_2 = P_1 \cdot 110$, и по значению P_2 определяем $S_2 = 4.3 \cdot 10^3$ см/с для обработанной поверхности (что по порядку величины хорошо согласуется со значением, полученным в [10]).

Разумеется, полученное значение S_2 весьма приближенное, так как оно зависит от выбора исходного значения S_1 . Использование иного значения S_1 даст другое S_2 . Поэтому мы приводим лишь относительные данные (см. таблицу), показывающие, во сколько раз изменяется скорость поверхностной рекомбинации GaAs после химической обработки по отношению к величине S для GaAs, обработанного в водном растворе Na_2S .

Таким образом, сульфидная обработка поверхности GaAs в растворе сульфида натрия на основе спиртовых растворителей приводит к более эффективному снижению скорости поверхностной рекомбинации (в 3–5 раз) по сравнению с традиционной сульфидной обработкой. Более того, изменяя полярную среду (растворитель), содержащую сульфид-ионы, можно управлять величиной S .

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить В.Н. Бессолова и М.В. Лебедева за полезные обсуждения и интерес к этой работе.

Список литературы

- [1] Yablouovitch E., Sandroff C.J., Bhat R., Gmitter T. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 6. P. 439–441.
- [2] Bessolov V.N., Ivankov A.F., Konenkova E.V., Lebdev M.V. // in MRS (Material Research Society) 1995. Proc. V. 378. P. 1019–1023.
- [3] Бессолов В.Н., Иванков А.Ф., Коненкова Е.В., Лебедев М.В. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 1. С. 46–50.
- [4] Minoru Sakata, Masaki Hayakawa, Noriyuki Nakano // Jpn. J. Appl. Phys. 1995. V. 34. P. 3447–3456.
- [5] Asai K., Miyashita, Ishigure K. // Surf. Sci. 1994. V. 306. P. 37–41.

- [6] Бир Г.Л. // ФТТ. 1959. Т. 1. В. 1. С. 67-76.
- [7] Ершов С.Г., Жуков В.Е., Кораблев В.В. // ФТП. 1987. Т. 21. № 5. С. 911-915.
- [8] Бессолов В.Н., Ершов С.Г., Иванков А.Ф., Лебедев М.В. // ФТТ. 1994. Т. 36. В. 12. С. 3601-3606.
- [9] Yablonovitch E., Bhat R., Zan C. // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 60. N 3. P. 371-373.
- [10] Corbet B., Kelly W.M. // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 62. N 1. P. 87.

Санкт-Петербургский
государственный технический
университет

Поступило в Редакцию
5 апреля 1996 г.

