

ионов Zn^{+} не может повлиять на процесс образования вакансий при быстрой кристаллизации из расплава. Поэтому на образцах InP , имплантированных Zn^{+} , наблюдается совершенно иное поведение зависимостей $I(d)$ с глубиной, чем на образцах, имплантированных P^{+} .

Таким образом, в данной работе показано, что имплантация в InP собственной компоненты У группы позволяет уменьшить дефектность материала после наносекундного лазерного воздействия. По-видимому, этот вывод справедлив также и для других полупроводниковых соединений A^3B^5 .

Авторы благодарят Ю.В. Погорельского за обсуждение результатов работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] А р у т ю н о в Е.Н., В а с и л ь е в А.Н., К а р п о в С.Ю., К о в а л ь ч у к Ю.В., М я ч и н В.Е., П о г о р е л ь с к и й Ю.В. В сб. Неравновесные процессы в полупроводниках. Л., 1986, с. 180-201.
- [2] N o j i m a S. - J. Appl. Phys., 1982, v. 53, No 7, p. 5028-5036.
- [3] А л ф е р о в Ж.И., А р у т ю н о в Е.Н., В а с и л ь е в А.Н., К а р п о в С.Ю., К о в а л ь ч у к Ю.В., М я ч и н В.Е., П о г о р е л ь с к и й Ю.В., С о к о л о в И.А. - Письма в ЖТФ, т. 11, № 15, с. 916-920.
- [4] А р у т ю н о в Е.Н., В а с и л ь е в А.Н., К а р п о в С.Ю., К о в а л ь ч у к Ю.В., М я ч и н В.Е., С о к о л о в И.А. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, № 20, с. 1217-1222.

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

Поступило в Редакцию
19 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2

26 января 1988 г.

ДОМИНИРУЮЩИЕ РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ ЦЕНТРЫ
В СЛОЯХ $n-GaAs$, ПОЛУЧЕННЫХ ОСАЖДЕНИЕМ
ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

В.М. Ботнарюк, Ю.В. Жилев,
А.Г. Кечек, Н.И. Кузнецов,
А.А. Лебедев, М.И. Шулга

Как известно, дефекты кристаллической решетки определяют многие важнейшие параметры полупроводниковых приборов. Некоторые

Т а б л и ц а

Уровень	E (эВ)	σ (см ²)	N_z (см ⁻³)	Идентификация
E ₁	0.15	7·10 ⁻¹⁶	3·10 ¹⁰ -1·10 ¹¹	EL ₁₁ [8]
E ₂	0.48	2·10 ⁻¹⁴	1·10 ¹² -7·10 ¹³	EL ₃ [8]
E ₃	0.705	1·10 ⁻¹²	2·10 ¹² -2·10 ¹⁴	
E ₄	0.79	1·10 ⁻¹³	3·10 ¹³ -4·10 ¹⁴	EL ₂ [8]
E ₅	0.3	1·10 ⁻¹²	1·10 ¹⁰ -6·10 ¹⁰	EL ₉ [9]
E ₆	0.31	1·10 ⁻¹³	1·10 ¹⁰ -6·10 ¹⁰	EL ₈ [9]
H ₁	0.13	2·10 ⁻¹⁴	1·10 ¹⁰ -1·10 ¹³	
H ₂	0.3	2·10 ⁻¹³	1·10 ¹² -1·10 ¹⁴	HL ₁₂ [10]
H ₃	0.38	4·10 ⁻¹⁵	2·10 ¹² -6·10 ¹³	
H ₄	0.56	2·10 ⁻¹⁶	9·10 ¹² -2·10 ¹⁴	HL ₃ [10]
H ₅	0.14	3·10 ⁻¹⁵	2·10 ¹¹ -7·10 ¹¹	

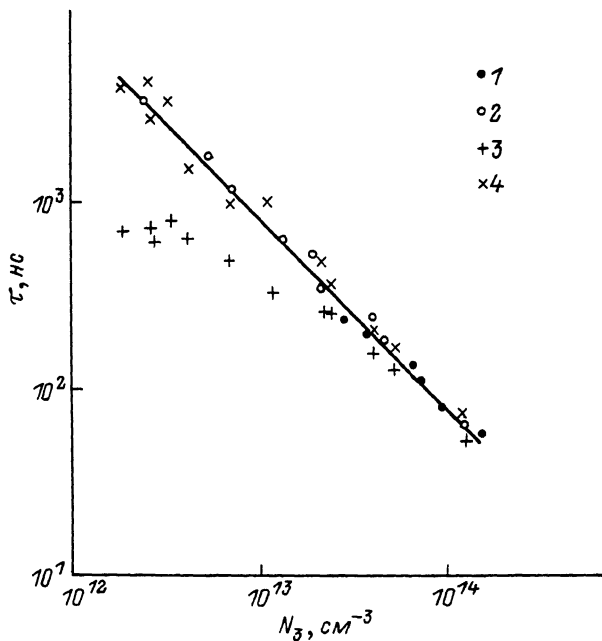
центры с глубокими уровнями (ГУ) имеют большие сечения захвата электронов σ_n и дырок σ_p , т.е. являются эффективными центрами безызлучательной рекомбинации. Целью данной работы было выявление таких центров и определение их параметров.

Исследуемые n_0 -слои были получены осаждением из газовой фазы в хлоридной системе [1, 2]. Концентрация фоновой примеси в них колебалась в пределах $3 \cdot 10^{14}$ - $5 \cdot 10^{15}$ см⁻³. Легированный Zn p-слой получался либо путем осаждения в той же системе, либо путем диффузии. В обоих случаях концентрации Zn были порядка 10^{18} см⁻³. Подвижность электронов в n_0 -слое изменялась в пределах 60000-130000 см²/В·с при 77 К.

Измерения концентрации и параметров ГУ производились с помощью нестационарной емкостной спектроскопии (НЕСГУ) на установке, описанной в [3]. При оценке концентрации ГУ учитывалось влияние переходного слоя [4]. Время жизни дырок определяли из измерений времени восстановления обратного тока диода по методу Лекса.

В результате измерений НЕСГУ обнаружено шесть центров захвата электронов (E₁-E₆) и пять центров захвата дырок (H₁-H₅), параметры которых приведены в таблице (см. [2, 5]).

Измерения показали, что время жизни дырок τ не зависит от уровня инжекции при $j = 0.2$ - 5 А/см². В диодах, в которых концентрация N_3 ГУ E₃ была велика по сравнению с остальными ГУ и составляла $3 \cdot 10^{13}$ - $2 \cdot 10^{14}$ см⁻³, наблюдалась зависимость $\tau \sim 1/N_3$ (см. рисунок, точки 1).



Зависимость $\tau = 1/N_3 b_3$.

В диодах, где $N_3 < N_4$, определение концентрации E_3 осложнялось тем, что постоянные времени перезарядки ГУ E_3 и E_4 близки между собой и пик НЕСГУ, соответствующий уровню E_3 , почти не заметен на фоне большого пика от перезарядки уровня E_4 . Следует отметить, что для центра E_4 наблюдался эффект фотогашения — характерная особенность уровня EL_2 [6]. Если $N_3 \leq N_4$, концентрация ГУ E_3 определялась при малых длительностях импульса заполнения [2] или путем дифференцирования по времени релаксационного сигнала. При таком соотношении концентраций зависимость τ ($1/N_3$) значительно отличается от линейной (точки 3), что указывает на наличие еще одного канала рекомбинации. Отклонения были больше при больших N_4 . Для уменьшения N_4 был проведен отжиг диодов. Из литературы известно [7], что EL_2 отжигается при 860°C в течение 15 мин. Мы производили отжиг при температуре 700°C в течение одного, двух и четырех часов. Было установлено, что при разных длительностях отжига N_4 уменьшалась на различную величину (1–3 порядка), а N_3 не менялась, причем имелась корреляция между уменьшением N_4 и увеличением τ . В полностью отожженных диодах наблюдалась зависимость $\tau \sim 1/N_3$ (точки 2) при N_3 от $2 \cdot 10^{12}$ до $2 \cdot 10^{14}$ cm^{-3} . Точки 1 и 2 ложатся на одну и ту же прямую. Это позволяет утверждать, что уровень E_3 является основным рекомбинационным центром. Вторым рекомбинационным центром является уровень E_4 .

Из зависимости τ^{-1}/N_3 (точки 1 и 2) было определено сечение захвата дырок $\sigma_{p3} \approx 1.2 \cdot 10^{-14}$ см². Из статистики Шокли - Рида при малом уровне инжекции следует, что

$$\frac{1}{\tau} = \sigma_{p3} N_3 + \sigma_{p4} N_4, \quad (1)$$

где σ - тепловая скорость дырок. Из соотношения (1) при вариации N_4 можно определить сечение захвата дырок на уровень E_4 - $\sigma_{p4} \approx 2 \cdot 10^{-15}$ см².

Используя приведенные выше значения σ_{p3} и σ_{p4} и измеренные для конкретных образцов значения τ , N_3 и N_4 , была вычислена величина

$$\tau^* = \left(\frac{1}{\tau} - (\sigma_{p4} N_4) \right)^{-1} = (\sigma_{p3} N_3)^{-1}. \quad (2)$$

Значения τ^* (точки 4) легли на ту же прямую, что и точки 1 и 2.

Таким образом, можно утверждать, что время жизни контролируется двумя основными каналами безызлучательной рекомбинации через уровни E_3 и E_4 , по крайней мере в диапазоне изменения τ от 40 до 4000 нс, где вклад остальных ГУ в рекомбинацию незначителен.

Следует подчеркнуть, что указанные центры наблюдались во всех исследованных образцах, поэтому можно утверждать, что они присущи *n-GaAs*, полученному в хлоридной системе.

Л и т е р а т у р а

- [1] Жиляев Ю.В., Ботнарюк В.М., Дяконову И.И., Россина Т.В., Челноков В.Е., Яковенко А.А. - Письма в ЖТФ, 1982, т. 9, в. 23, с. 1442-1444.
- [2] Ботнарюк В.М., Жиляев Ю.В., Лебедев А.А., Кузнецов Н.И. - Препринт ФТИ, Л., 1986, № 1024, с. 12.
- [3] Лебедев А.А., Кузнецов Н.И. - Препринт ФТИ, Л., 1986, № 1046, с. 26.
- [4] Астрова Е.В., Лебедев А.А. Ст. деп. М., 1985, № Р - 4010.
- [5] Hubik P., Smid V., Sobolev N.A., Zhilyaev Yu.V., Kuznetsov N.I. - 2nd Conference on Physics and Technology of GaAs and other III-V Semiconductors. Budapest, Hungary. 8-11 sept. 1986.
- [6] Vincent G., Bois D., Chantre A. - J. Appl. Phys., 1982, v. 53, N 5, p. 3643-3649.

- [7] Martin G.M., Terriac P., Makram-Ebeid S., Guillot G., Gaud M. - Appl. Phys. Lett., 1983, v. 42, N 1, p. 61-63.
- [8] Martin G.M., Mitonneau A., Mircea A. - Electron. Lett., 1977, v. 13, p. 191-194.
- [9] Mircea A., Mitonneau A. - Appl. Phys., 1975, v. 8, p. 15-19.
- [10] Mitonneau A., Martin G.M., Mircea A. - Electron. Lett., 1977, v. 13, p. 666-668.

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

Поступило в Редакцию
15 мая 1987 г.
В окончательной редакции
2 сентября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2

26 января 1988 г.

ЭПР НА СВОБОДНЫХ НОСИТЕЛЯХ ЗАРЯДА В ОКСИДНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ $R-Ba-Cu-O$

Ю.И. Веснин, В.Е. Истомирин,
Э.Г. Косцов

Изучению ЭПР на свободных носителях в металлах, а также поглощению энергии высокочастотного излучения в классических сверхпроводниках посвящено достаточно большое число работ, см., например, [1, 2].

Установлено также, что в оксидных сверхпроводниках типа $Y-Ba-Cu-O$ наблюдается парамагнитный резонанс на ионах Cu^{2+} [3].

Целью настоящей работы являлось исследование части спектра ЭПР в указанном классе сверхпроводников, связанной со свободными носителями заряда. Изучение именно этой части спектра может дать ключ к пониманию механизма сверхпроводимости в открытых в последние месяцы сверхпроводниках.

Объектом исследования служила керамика $YBa_2Cu_3O_y$ и $EuBa_2Cu_3O_y$, полученная спеканием исходных компонент по методике [4]. При этом использовались как образцы, обладающие сверхпроводимостью (устанавливаемой по температурной зависимости величины сопротивления R и проявлению эффекта Мейснера), так и несверхпроводящие образцы того же химического состава и кристаллической структуры, устанавливаемой по идентичности рентгенограмм.

Измерения спектров ЭПР проводились на радиоспектрометре РЭ-1301 с частотой клистрона 9300 МГц и частотой модуляции 975 КГц.