

К. ф.-м. н. А. Ю. БОНЧИК, к. ф.-м. н. И. И. ИЖНИН,
д. ф.-м. н. С. Г. КИЯК, к. ф.-м. н. Г. В. САВИЦКИЙ

Украина, г. Львов, ИППММ НАНУ, НПП "Карат"
E-mail: surface@iapmm.lviv.ua; granat@ipm.lviv.ua

Дата поступления в редакцию
23.07 2004 г.

Оппонент д. т. н. В. И. ОСИНСКИЙ
(Центр оптоэлектронных технологий, г. Киев)

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ И ФОТОННОГО ОТЖИГА НА ПАРАМЕТРЫ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ n -GaAs:Si

Показана возможность получения слоев n -GaAs на полуизолирующем GaAs толщиной 0,1–0,3 мкм с концентрацией электронов 10^{17} – 10^{18} см $^{-3}$ и подвижностью 2000–3000 см 2 /(В·с).

Ионная имплантация является одним из основных методов формирования локальных легированных областей в микроэлектронных приборах на основе GaAs-и GaAs-структур для изготовления приборов микроэлектроники, например СВЧ полевых транзисторов с барьером Шоттки [1, 2]. Прежде всего это связано с трудностями диффузионного легирования этого материала, особенно донорными примесями с высокой концентрацией ($>10^{18}$ см $^{-3}$), без значительного ухудшения кристаллической структуры материала.

Несмотря на то, что ионное легирование арсенида галлия начало развиваться уже более 30 лет, в каждом конкретном случае для получения заданных параметров требуется проведение целенаправленных технологических и исследовательских работ по выбору режимов ионной имплантации примеси и, особенно, методов и режимов послеимплантационного отжига. Последнее обстоятельство создает дополнительные трудности и приводит к дополнительному усложнению технологии ионного легирования в связи с тем, что при высоких температурах отжига происходит разложение материала за счет испарения As с поверхности, и требуется защита поверхности при обычном термическом отжиге.

Значительные преимущества в этом плане дает импульсный фотонный отжиг [3]. Сравнительный анализ обычного и фотонного отжига, а также использование фотонного отжига в имплантированном кремнии полуизолирующем GaAs для создания СВЧ полевых транзисторов и интегральных микросхем было проведено в [4, 5]. В частности, там отмечается высокая активность введенных ионов Si при использовании фотонного отжига.

Целью работы была отработка технологических режимов ионного легирования ионами Si и режимов послеимплантационного некогерентного импульсного фотонного отжига для получения слоев n -GaAs на полуизолирующем GaAs толщиной 0,1–0,3 мкм с концентрацией электронов 10^{17} – 10^{18} см $^{-3}$ и подвижностью 2000–3000 см 2 /(В·с).

Эксперимент

Ионное легирование ионами Si $^{+}$ проводилось на ионно-лучевой установке МРВ-202 фирмы «Balzers».

Для получения ионов Si $^{+}$ в ионном источнике использовалось соединение SiF $_4$. Анализ спектров ионов данного соединения, полученных с помощью масс-спектрографа, свидетельствовал об отсутствии пиков посторонних ионов на выходе ионного сепаратора.

Ионная имплантация проводилась при энергии ионов 100 кэВ при комнатной температуре и нормальном падении пучка ионов на поверхность подложки и флюенсах ионов $3 \cdot 10^{13}$, 10^{14} и $5 \cdot 10^{14}$ см $^{-2}$. Контроль флюенса ионов осуществлялся встроенным интегратором с точностью не хуже 0,02%. В качестве подложек были использованы полуизолирующие пластины GaAs типа АГЧП-1 с ориентацией (100) и удельным сопротивлением $\geq 10^7$ Ом·см производства ОАО «Чистые металлы» (г. Светловодск).

Для активации имплантированных ионов и отжига радиационных дефектов использовали некогерентный импульсный фотонный отжиг, для чего использовалась модернизированная установка фотонного отжига «Оникс», описанная в [6]. Компьютерное управление установкой позволяло с высокой точностью воспроизводить задаваемые температурно-временные диаграммы отжига имплантированных структур при характерных значениях времени отжига до 100 с и температурах отжига до 1000°C с визуальным контролем временного хода задания и реальной температуры держателя на экране дисплея. Отжиг проводился в защитной проточной атмосфере азота.

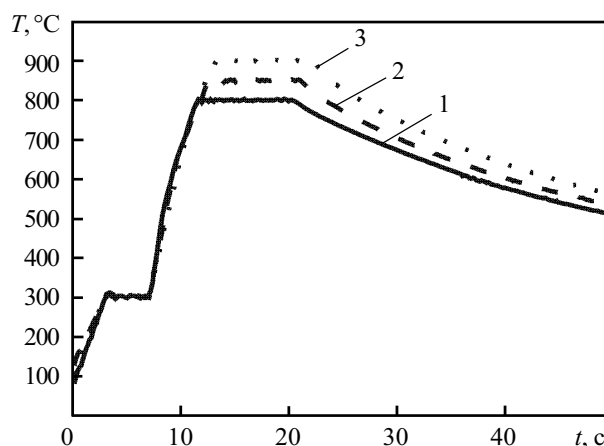


Рис. 1. Температурно-временные диаграммы фотонного отжига ионно-имплантированных структур GaAs при длительности отжига 10 с:
1 — $T=800^{\circ}\text{C}$; 2 — $T=850^{\circ}\text{C}$; 3 — $T=900^{\circ}\text{C}$

Для исследования влияния режимов отжига (температура и длительность) на параметры имплантированных слоев (концентрацию и подвижность носителей, толщину имплантированного слоя) из имплантированной при каждом флюенсе пластины было выколото по 9 образцов размерами примерно 8×8 мм для проведения холловских измерений. Отжиг проводили при температурах 800, 850 и 900°C и длительности отжига 5 и 10 с для каждой температуры. (На рис. 1 приведен пример температурно-временной диаграммы отжига при длительности 10 с.) Параллельно с этими образцами отжигались также образцы для исследования толщины имплантированного слоя и профиля распределения концентрации носителей.

После отжига на каждый холловский образец наносили микрощупальником контакты из сплава In+5%Te, которые затем отжигали при температуре 400°C в течение 1 мин в атмосфере азота.

Концентрация и подвижность носителей определялись из результатов холловских измерений. Измерения проводили по стандартной методике на постоянном токе в магнитном поле 1 Тл в конфигурации Ван-дер-Пау при комнатной температуре на модернизированной установке «Холл-200» [7].

Результаты и обсуждение

При импульсном некогерентном фотонном отжиге образец прогревается на всю толщину, вследствие чего процесс отжига происходит в твердой фазе. По сравнению с обычным термическим отжигом процесс перестройки дефектной структуры проходит значительно быстрее (порядка десятка секунд), и поэтому фотонный отжиг не сопровождается значительным диффузным размытием профиля имплантированной примеси, и самое главное, вызывает значительно меньшее разложение поверхности материала.

Результаты исследований различных условий отжига на свойства имплантированных Si слоев n-GaAs приведены в таблице, где

Параметры ионно-имплантированных структур после фотонного отжига

Φ , см ⁻²	$T_{\text{отж}}$, °C	$t_{\text{отж}}$, с	Номер образца	n_s , см ⁻²	μ , см ² /(В·с)
10^{14}	800	5	AG1-800-5	$1,43 \cdot 10^{13}$	2040
	850	5	AG1-850-5	$1,91 \cdot 10^{13}$	1980
	900	5	AG1-900-5	$2,36 \cdot 10^{13}$	1800
10^{14}	800	10	AG1-800-10	$1,7 \cdot 10^{13}$	1940
	850	10	AG1-850-10	$2,02 \cdot 10^{13}$	1840
	900	10	AG1-900-10	$2,29 \cdot 10^{13}$	1700
$5 \cdot 10^{14}$	800	5	AG2-800-5	$1,13 \cdot 10^{13}$	2090
	850	5	AG2-850-5	$1,43 \cdot 10^{13}$	2030
	900	5	AG2-900-5	$1,57 \cdot 10^{13}$	2010
$5 \cdot 10^{14}$	800	10	AG2-800-10	$1,22 \cdot 10^{13}$	2150
	850	10	AG2-850-10	$1,48 \cdot 10^{13}$	2050
	900	10	AG2-900-10	$1,64 \cdot 10^{13}$	1930
$3 \cdot 10^{13}$	850	5	AG3-850-5	$5,37 \cdot 10^{12}$	1450
	900	5	AG3-900-5	$9,87 \cdot 10^{12}$	1800
$3 \cdot 10^{13}$	800	10	AG3-800-10	$4,72 \cdot 10^{12}$	1920
	850	10	AG3-850-10	$7,34 \cdot 10^{12}$	1780
	900	10	AG3-900-10	$1,3 \cdot 10^{13}$	1520

Φ — флюенс внедренных ионов;
 $T_{\text{отж}}$ — температура отжига;
 $t_{\text{отж}}$ — длительность отжига;
 n_s — слоевая холловская концентрация электронов,
 $n_s = d/(e \cdot R_H)$;
 d — эффективная толщина имплантированного слоя;
 e — заряд электрона;
 R_H — коэффициент Холла;
 μ — подвижность электронов.

Для анализа полученных результатов введем величину коэффициента активности внедренных ионов $a = n_s / \Phi$ [5], которая не учитывает влияния обедненных слоев у поверхности и границы раздела "имплантированный слой—подложка".

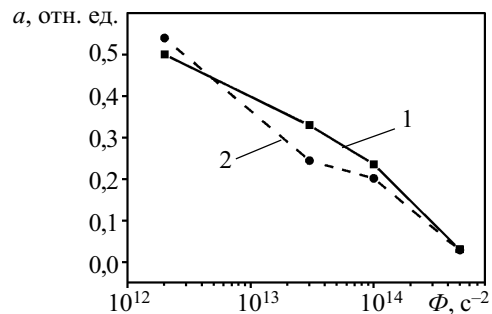


Рис. 2. Зависимость активности ионов от флюенса для имплантированных Si слоев GaAs при режимах отжига $T=900^\circ\text{C}$, $t=5$ с (1) и $T=850^\circ\text{C}$, $t=10$ с (2)

На рис. 2 приведены зависимости активности ионов от флюенса для двух режимов отжига. (Значения для $\Phi=2 \cdot 10^{12}$ см⁻² взяты из работы [5].) Как видно, в каждом случае наблюдается сильное уменьшение активности при возрастании флюенса ионов.

Выводы

Исследования показали возможность получения с помощью фотонного отжига имплантированных ионами Si слоев n-GaAs с толщиной 0,1—0,3 мкм, концентрацией электронов 10^{17} — 10^{18} см⁻³ и подвижностью 2000—3000 см²/(В·с).

Отмечается сильная зависимость активности имплантированных ионов от флюенса ионов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Арсенид галлия в микроэлектронике / Под ред. Н. Айнспрука, У. Уиссмана. — М.: Мир, 1988.
2. Hunsperger R. G., Hirsch N. GaAs field-effect transistors with ion implanted channels // Electron. Lett. — 1973. — Vol. 9, N 25. — P. 577—578.
3. Готра З. Ю., Осередько С. А., Бобицкий Я. В. Импульсный лазерный отжиг ионно-имплантированных полупроводниковых материалов // Зарубежная электронная техника. — 1983. — № 6. — С. 3—48.
4. Tamura A., Uenoyama T., Nishii K. et al. New rapid thermal annealing for GaAs digital integrated circuits // J. Appl. Phys. — 1987. — Vol. 62, N 3. — P. 1102—1107.
5. Crist J. O., Look D. C. Activation efficiencies for a standard qualification implant in GaAs annealed by a rapid thermal process // J. Electron. Mater. — 1990. — Vol. 19, N 8. — P. 773—776.
6. Савицкий Г. В., Бончик А. Ю., Ижнин И. И. и др. Модернизация установки фотонного отжига полупроводниковых пластин "Оникс" // "Технология и конструирование в электронной аппаратуре". — 2002. — № 6. — С. 45—47.
7. Бончик О. Ю., Ижнин И. И., Кияк С. Г. та ін. Автоматизований комплекс для дослідження електрофізичних властивостей напівпровідникових матеріалів // 36. наук. праць Фіз.-механіч. ін-ту ім. Г. В. Карпенка. Сер. "Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів". — 2002. — Вип. 7. — С. 235—240.