

УДК 621.315.59

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И НЕЙТРОНОВ НА ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ СЛОИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

В. А. Мокрицкий¹, В. А. Завадский², С. В. Ленков³, Я. И. Лепих⁴, О. В. Банзак⁵

1 — Одесский национальный политехнический университет,
Украина, г. Одесса, проспект Шевченко 1 E-mail: mokrickiy@mail.ru

2 — Одесская национальная морская академия, ул. Дидрихсона, 8

3 — Военный институт национального университета им. Т. Г. Шевченка, г. Киев

4 — Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова

5 — Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова

E-mail: vaaz@ukr.net

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И НЕЙТРОНОВ НА ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ СЛОИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

В. А. Мокрицкий, В. А. Завадский, С. В. Ленков, Я. И. Лепих, О. В. Банзак

Аннотация. Исследованы радиационные эффекты, возникающие в эпитаксиальных слоях арсенида галлия при облучении быстрыми электронами и нейтронами. Проведен сравнительный анализ их влияния на электрофизические параметры соединения GaAs.

Ключевые слова: радиация, эпитаксиальный слой, радиационная стойкость, арсенид галлия

THE COMPARISON ANALYSES OF THE INFLUENCE OF THE POWER ELECTRONS AND NEUTRONS EFFECTS IN EPITAXIAL LAYERS OF GALLIUM ARSENIDE

V. A. Mokritsky, V. A. Zavadsky, S. V. Lenkov, Ya. I. Lepich, O. V. Banzak

Abstract. The radiating effects arising in epitaxial layers of gallium arsenide at an irradiation fast electrons and neutrons are investigated. The comparison analyses of their influence on electrophysical parameters of compound GaAs.

Keywords: radiation, epitaxial layer, radiating resistance, gallium arsenide

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ШВИДКИХ ЕЛЕКТРОНІВ І НЕЙТРОНІВ НА ЕПІТАКСІЙНІ ШАРИ АРСЕНІДУ ГАЛІЯ

В. А. Мокрицький, В. А. Завадський, С. В. Ленков, Я. І. Лепіх, О. В. Банзак

Анотація. Досліджені радіаційні ефекти, що виникають в епітаксіальних шарах арсеніду галія при опроміненні швидкими електронами і нейтронами. Проведено порівняльний аналіз їх впливу на електрофізичні параметри сполуки GaAs.

Ключові слова: радіація, епітаксієний шар, радіаційна стійкість, арсенід галія

Введение

К настоящему времени выполнено значительное количество работ по использованию ионизирующих излучений для материаловедения и приборостроения на основе полупроводниковых соединений. Однако они, в большинстве своем, решают прикладные задачи, не решая проблемы радиационной физики полупроводниковых соединений.

В данной работе сделана попытка сопоставить ранее полученные авторами результаты влияния быстрых электронов и нейтронов на свойства одного из наиболее популярных материалов микроэлектроники и, в частности, оптоэлектроники — арсенид галлия [1].

Эксперимент

Облучение быстрыми электронами. Облучению дозами электронов $1 \cdot 10^{15}$, $1 \cdot 10^{16}$ и $5 \cdot 10^{16}$ см^{-2} были подвергнуты подложки арсенида галлия, легированные теллуром, с концентрацией $(2-4) \cdot 10^{17}$ см^{-3} , эпитаксиальные слои нелегированные с концентрацией остаточных примесей около $(5-6) \cdot 10^{16}$, $(1,2-1,8) \cdot 10^{17}$, $(7-8) \cdot 10^{17}$ см^{-3} , а также эпитаксиальные слои, легированные цинком до концентрации $(1,3-1,6) \cdot 10^{18}$ см^{-3} . Результаты измерений их параметров показали: малая доза облучения увеличивает удельное сопротивление материала на 6 %, концентрация носителей заряда уменьшается на 20 %, а их подвижность возрастает на 15 %. Это может быть вызвано упорядочением структуры арсенида галлия при малой дозе облучения, т.к. скорость введения радиационных дефектов меньше скорости аннигиляции собственных и введенных.

Увеличение дозы облучения резко увеличивает удельное сопротивление материала, уменьшает концентрацию носителей заряда и их подвижность (рис. 1).

Это говорит о введении радиационных дефектов, которые компенсируют исходный материал, по-видимому, за счет образования комплексов с примесями и собственными атомами. С увеличением концентрации примеси в слоях уменьшается степень изменения их электрофизических параметров при данной дозе облучения. И наоборот, наиболее “чистые” образцы ($5 \cdot 10^{16}$ см^{-3}) компенсируются уже при небольших дозах облучения. Следует отметить, что не наблюдалось существенного отличия в

поведении объемных образцов (подложек) и эпитаксиальных слоев арсенида галлия. Также не было отмечено и влияния типа примеси на процесс возникновения радиационных дефектов. При дозах 10^{16} и $5 \cdot 10^{16}$ см^{-2} эпитаксиальные слои арсенида галлия настолько сильно компенсировались радиационными дефектами, что становились полуизолирующими и в них было затруднено определение электрофизических параметров.

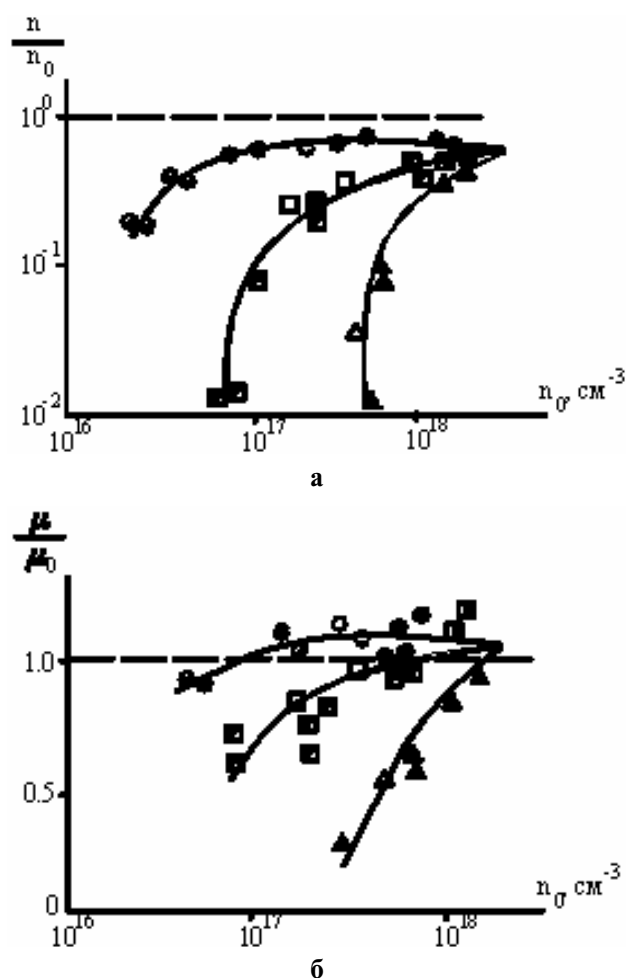


Рис. 1. Зависимость относительного изменения концентрации (а) и подвижности (б) носителей заряда в арсениде галлия от их начальной концентрации при облучении электронами. Доза облучения электронами: 1 (○, ◐, ●) — $1 \cdot 10^{15}$ см^{-2} ; 2 (□, ◑, ■) — $1 \cdot 10^{16}$ см^{-2} ; 3 (△, ▲, ▴) — $5 \cdot 10^{16}$ см^{-2} . Экспериментальные точки: ○, □, △ — подложки; ◐, ◑, ▲ — нелегированные эпитаксиальные слои; ●, ■, ▴ — эпитаксиальные слои, легированные цинком

Порогом ухудшения электрофизических свойств эпитаксиальных слоев арсенида галлия при облучении электронами может служить условие:

$$n_0 \geq (30 - 40) \Phi_e, \quad (1)$$

где n_0 — концентрация носителей заряда до облучения; Φ_e — поток облучения электронами.

Оценка темпа компенсации носителей заряда радиационными дефектами показала, что процесс выведения носителей заряда протекает по экспоненциальному закону (рис. 2):

$$n = n_0 \exp(-K_u \cdot \Phi_e), \quad (2)$$

где n — концентрация носителей заряда в образце после облучения; K_u — коэффициент, характеризующий скорость выведения носителей заряда.

Существует мнение [2], что при малых уровнях легирования и низких потоках радиации величина скорости выведения носителей заряда для арсенида галлия постоянна и не зависит от концентрации и природы примеси. В нашем случае при концентрации примеси от $5 \cdot 10^{16}$ до $1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ величина K_u зависит от начальной концентрации носителей заряда. Обработка экспериментальных данных, полученных в [1] позволила определить такую зависимость, представленную на рис. 2. В логарифмических координатах эта зависимость оказалась практически линейной. Причем, скорость выведения носителей заряда как в объемном материале, так и в эпитаксиальных слоях была одинакова [3].

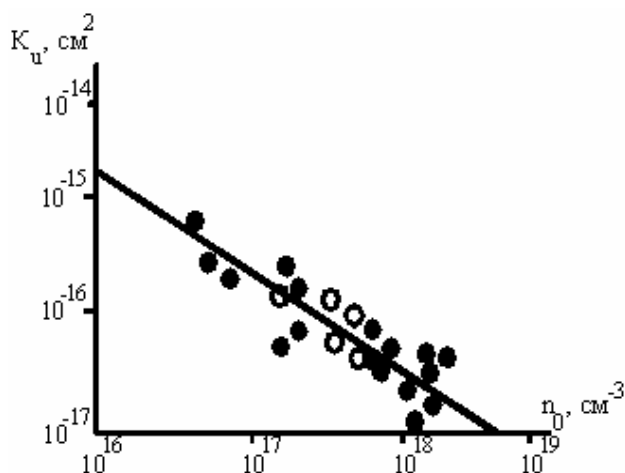


Рис. 2. Зависимость скорости выведения носителей заряда в арсениде галлия от их начальной концентрации при облучении электронами: ● — эпитаксиальные слои; ○ — подложки

Облучение быстрыми нейтронами. Облучению подвергались эпитаксиальные слои арсенида галлия нелегированные с остаточной концентрацией активных примесей $(1-10) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

При малых дозах облучения (до 10^{15} см^{-2}) и высокой начальной концентрации свободных носителей заряда в слоях их электрофизические характеристики улучшаются (рис. 3): уменьшается концентрация и возрастает подвижность носителей заряда. При этом степень их изменения не зависит от типа легирующей примеси. При больших дозах облучения наблюдается компенсация материала слоя радиационными дефектами.

При дозах облучения больших $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ наблюдается значительное изменение параметров, зависящее от дозы облучения и не зависящее от типа легирующей примеси.

Анализ зависимости (рис. 3) изменения концентрации носителей заряда от дозы облучения нейтронами показывает, что ухудшение электрофизических параметров эпитаксиального слоя наблюдается при начальной концентрации активных примесей в них:

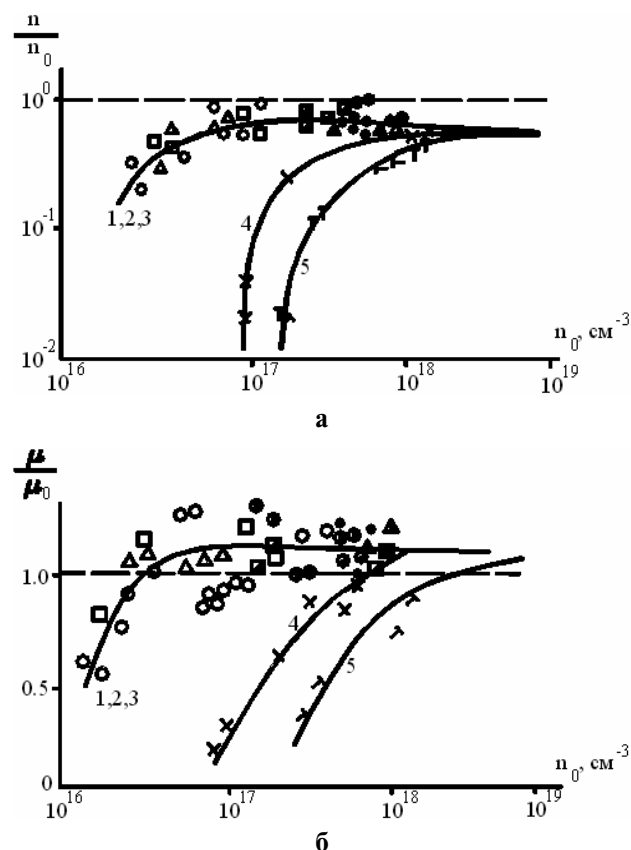


Рис. 3. Зависимость относительного изменения концентрации (а) и подвижности (б) носителей заряда от их начальной концентрации в арсениде галлия при облучении нейтронами. Доза облучения нейтронами: 1 (○, ●, ●) — $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$; 2 (□, ■, ■) — $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$; 3 (△, △, △) — $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; 4 (+, x) — $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; 5 (→, ↗, ←) — $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

$$n_0 \leq (50 - 250) \Phi_n, \quad (3)$$

где Φ_n — доза облучения нейтронами.

При этом меньшим дозам соответствует большее значение числового коэффициента.

Оценка в этих условиях темпа компенсации носителей заряда радиационными дефектами показывает, что процесс выведения носителей заряда протекает по экспоненциальному закону, аналогичному (2):

$$n = n_0 \exp(-K_n \Phi_n). \quad (4)$$

При облучении дозами нейтронов $(1-100) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ и начальной концентрации свободных носителей заряда в пределах $(2-200) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ оказалось, что величина K_n зависит не только от начальной концентрации носителей в эпитаксиальном слое, но и от дозы облучения (рис. 4).

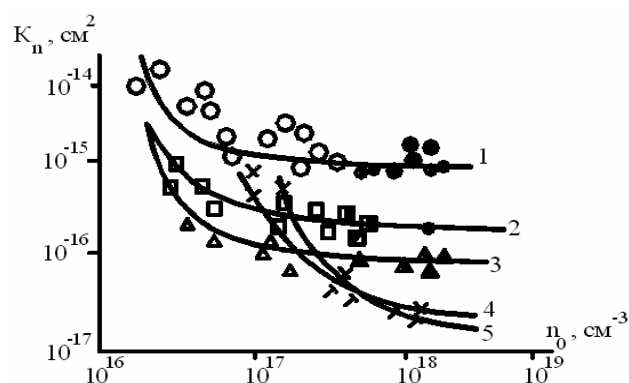


Рис. 4. Зависимость скорости выведения носителей заряда в эпитаксиальных слоях арсенида галлия от их начальной концентрации при облучении нейтронами [4]. Доза облучения нейтронами: 1 (○ — подложки, ● — слои) — $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$; 2 (□ — подложки, ■ — слои) — $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$; 3 (△ — подложки, ▲ — слои) — $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; 4 (+ — подложки, × — слои) — $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; 5 (→ — подложки, ↗ — слои) — $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

Выводы

1. Существует порог дозы облучения $\sim 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ электронами и нейтронами, до которой улучшаются электрофизические свойства арсенида галлия (рис. 1, 3).

2. В обоих случаях изменение электрофизических параметров не зависит от типа легирующей примеси и объема материала (подложки или эпитаксиальные слои).

3. Стойкость свойств эпитаксиальных слоев арсенида галлия к облучению зависит как от концентрации примеси (и тем больше, чем сильнее они легированы), так и от дозы облучения быстрыми электронами и нейтронами.

4. Характер влияния быстрых электронов и нейтронов на свойства арсенида галлия во многом подобен. Однако количественно влияние быстрых нейтронов более существенно. Причины этого обусловлены их природой и большей энергией.

Литература

1. С.В. Ленков, В.А. Мокрицкий, А.С. Гаркавенко, В.В. Зубарев, В.А. Завадский. Радиационное управление свойствами материалов и изделий опто — и микро-электроники: Монография. — Одесса: Астропринт, 2002 — 297 с.
2. Уваров Е.Ф. Электрофизические свойства полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$, облученных быстрыми электронами и нейтронами // Обзоры по электронной технике. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. — М.: ЦНИИ, Электроника. — Вып. 9. — 1979. — 68 с.
3. Физико-технические основы радиационной технологии полупроводников / С.В. Ленков, В.А. Мокрицкий, Д.А. Перегудов, Г.Т. Тариелашвили / Под ред. В.А. Мокрицкого. — Одесса: УТС ПРИНТ, 2002. — 297 с.