

УДК 537.533.3:621.315.592

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

К. т. н. В. А. Завадский

Одесская государственная морская академия
Украина, г. Одесса
vaaz@ukr.net

Приведены результаты исследований и показаны возможности использования радиационного облучения высокоэнергетическими частицами в технологии формирования заданных свойств эпитаксиальных слоев арсенида галлия и некоторых изделий на его основе.

Ключевые слова: радиация, доза, эпитаксия, электроны, нейтроны

К настоящему времени выполнено определенное 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 [1].

В данной работе сделана попытка сопоставить известные [2] и полученные автором экспериментально результаты влияния быстрых электронов и нейтронов на свойства одного из наиболее популярных материалов оптоэлектроники — арсенида галлия.

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, нелегированные эпитаксиальные слои 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. Анализ результатов измерений их параметров показал, что малая доза облучения увеличивает удельное сопротивление материала на 6%, концентрация носителей заряда уменьшается на 20%, а их подвижность возрастает на 15%. Это может быть связано с упорядочением структуры арсенида галлия при малой дозе облучения. 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. Это говорит о введении радиационных дефектов, которые компенсируют носители заряда в исходном материале, по-видимому, за счет образования комплексов с примесями и с собственными атомами. С увеличением концентрации примеси в слоях уменьшается степень изменения их электрофизических параметров при данной дозе облучения. И наоборот, в наиболее «чистых» образцах ($5 \cdot 10^{16}$ см⁻³) носители компенсируются уже при небольших дозах облучения. Следует отметить, что существенного отличия в поведении объемных образцов (подложек) и эпитаксиальных слоев арсенида галлия не наблюдалось. Также не было отмечено и влияние типа примеси на процесс возникновения радиационных дефектов. При дозах облучения 10^{16} и $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² носители в эпитаксиальных слоях арсенида галлия настолько сильно компенсировались радиационными дефектами, что слои становились полуизолирующими и сложно было определить их электрофизические параметры.

Порогом ухудшения электрофизических свойств эпитаксиальных слоев арсенида галлия при облучении электронами может служить условие [3]: $n_0 \geq (30-40)\Phi_e$, (1)

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

Оценка темпа компенсации носителей заряда радиационными дефектами показала, что процесс выведения носителей заряда протекает по экспоненциальному закону: $n = n_0 \exp(-K_u \Phi_e)$, (2)

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

Существует мнение, что при малых уровнях легирования и низких потоках радиации скорость

выведения носителей заряда для арсенида галлия постоянна и не зависит от концентрации и природы примеси [2]. В нашем случае, при изменении концентрации примеси от $5 \cdot 10^{16}$ до $1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ величина K_n зависит от начальной концентрации носителей заряда. Обработка экспериментальных данных позволила определить такую зависимость в подтверждение полученных ранее результатов [4]. В логарифмических координатах эта зависимость оказалась практически линейной. Причем, скорость выведения носителей заряда как в объемном материале, так и в эпитаксиальных слоях была одинакова. Подобный результат зависимости скорости выведения носителей заряда от их начальной концентрации наблюдался нами ранее при облучении электронами эпитаксиальных слоев кремния.

Облучение быстрыми нейтронами.

Облучению подвергались эпитаксиальные слои арсенида галлия нелегированные с остаточной концентрацией активных примесей $(1-10) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Анализ основных параметров слоев до и после облучения различными дозами нейтронов показывает, что при малых дозах облучения (до 10^{15} см^{-2}) и высокой начальной концентрации свободных носителей заряда в слоях их электрофизические характеристики улучшаются: уменьшается концентрация и возрастает подвижность носителей заряда. При этом степень их изменения не зависит от типа легирующей примеси. При больших дозах облучения в материале слоя наблюдается компенсация носителей заряда радиационными дефектами. При дозах облучения больше $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ наблюдаются значительные изменения параметров, зависящие от дозы облучения и не зависящие от типа легирующей примеси.

Анализ зависимости изменения концентрации носителей заряда от дозы облучения нейтронами показывает, что ухудшение электрофизических параметров эпитаксиального слоя наблюдается при начальной концентрации активных примесей в них $n_0 \leq (50-250) \Phi_n$. (3)

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): $n = n_0 \exp(-K_n \Phi_n)$, (4)

где Φ_n — доза облучения нейтронами; K_n — коэффициент «повреждения» материала.

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.

Таким образом, установлено, что существует порог дозы облучения электронами и нейтронами, до которой улучшаются электрофизические свойства арсенида галлия. В обоих случаях изменение электрофизических параметров не зависит от типа легирующей примеси и объема материала (подложки или эпитаксиальные слои). 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. 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.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Chernov A., Mamontov A. Ordering of defective crystal structure by ionizing radiation (effect of small doses of radiation) // Program of the MRS 1998 Spring Meeting, San Francisco, CA.— 1998.— P. 51.
2. Уваров Е. Ф. Электрофизические свойства полупроводниковых соединений $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$, облученных быстрыми электронами и нейтронами // Обзоры по электронной технике. Сер. 2. Полупроводниковые приборы.— Москва: ЦНИИ Электроника.— 1979 — Вып. 9.
3. Ленков С. В., Мокрицкий В. А., Гаркавенко А. С. и др. Радиационное управление свойствами материалов и изделий опто- и микроэлектроники.— Одесса: Изд. «Друк», 2003.
4. Ленков С. В., Лукомський Д. В., Мокрицький В. А. та ін. Радіаційно-термічне корегування властивостей арсеніду галію // Вісник НАУ 2003.— № 1 (16), С. 70—72.

V. A. Zavadsky

The irradiation influence on properties of GaAs epitaxial layers.

The paper presents the research results and the possibilities of using high-energy particles irradiation in the technology of forming GaAs epitaxial layers and some GaAs-based products with set-up properties.

Keywords: *irradiation, epitaxial, layers.*