

02;06.1;06.2,12

Релаксация внутренних механических напряжений в арсенидгаллиевых приборных структурах, стимулированная микроволновой обработкой

© Н.С. Болтовец, А.Б. Камалов, Е.Ю. Колядина,
Р.В. Конакова, П.М. Литвин, О.С. Литвин,
Л.А. Матвеева, В.В. Миленин, А.Е. Ренгевич

Государственный научно-исследовательский институт "Орион", Киев
Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев
E-mail: plyt@isp.kiev.ua

Поступило в Редакцию 2 августа 2001 г.

Исследовано влияние сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения частотой 2.45 GHz, удельной мощностью 1.5 W/cm^2 на релаксацию внутренних механических напряжений в $n-n^+$ -структурах GaAs, Au-Ti- $n-n^+$ -GaAs-структурах с барьером Шоттки и полевых транзисторах с затвором Шоттки (ПТШ) на основе GaAs. Показано, что воздействие микроволнового излучения в течение нескольких секунд приводит к релаксации внутренних механических напряжений, сопровождающейся улучшением структурного совершенства приповерхностных слоев полупроводника, что в приборных структурах обоих типов (диодных и ПТШ) обуславливает улучшение параметров: увеличение высоты барьера Шоттки, уменьшение фактора идеальности и обратного тока в диодных структурах и увеличение крутизны и начального тока стока в ПТШ.

В последние годы уделяется большое внимание влиянию микроволновых обработок на свойства полупроводниковых материалов, приборных структур и приборов [1–10]. Это связано как с поиском новых технологий, так и с необходимостью изучения механизмов деградации полупроводниковых приборов, подвергаемых различного рода внешним воздействиям (температура, сильные магнитные поля, радиация, СВЧ-излучение). Одной из причин изменения параметров полупроводниковых материалов и приборов является релаксация внутренних механических напряжений. О влиянии СВЧ-излучения на остаточную деформацию приповерхностных слоев кремния сообщалось в [3]. Однако не

известны подобные исследования на приборных структурах с барьерами и омическими контактами. Как было показано ранее в наших работах [11,12], не всегда релаксация внутренних механических напряжений приводит к деградации приборов и приборных структур. В данном сообщении приводятся новые данные о влиянии СВЧ-облучения на параметры диодных Au–Ti– $n-n^+$ -GaAs и транзисторных структур с барьером Шоттки и релаксацию внутренних механических напряжений в пластинах с $n-n^+$ -структурой GaAs и топологией арсенидгаллиевых полевых транзисторов с затвором Шоттки (ПТШ) и диодных структур Au–Ti– $n-n^+$ -GaAs.

Объектами исследований были $n-n^+$ -структуры (100) GaAs, полученные методом газофазной эпитаксии в промышленных условиях, приборные структуры с барьером Шоттки Au–Ti– $n-n^+$ -GaAs, изготовленные на их основе, и арсенидгаллиевые ПТШ, затвор Шоттки которых был сформирован Au–Ti-металлизацией. Омические контакты к приборным структурам обоих типов созданы на основе Au–Ge-эвтектики. Диаметр диодных структур составлял 500 μm .

До и после микроволновой обработки (облучение в свободном пространстве в магнетроне частотой 2.45 GHz, удельной мощностью 1.5 W/cm² в течение 0.5–10 s) измерялись вольт-амперные характеристики (ВАХ) диодных структур и ПТШ, сформированных на пластинах GaAs, радиус изгиба R пластин и спектры поверхностно-барьерного электроотражения (ПБЭО) на $n-n^+$ -GaAs структурах, из последних рассчитывалась величина Γ столкновительного параметра уширения. Изгиб измерялся на профилометре-профилографе П201, а также методом рентгеновской дифракции. Профилограммы записывались со стороны пленки или топологии приборных структур без повреждения поверхности. По измеренному радиусу изгиба $n-n^+$ -GaAs-структур по формуле Стоуни рассчитывалась величина внутренних механических напряжений [11]. Спектры ПБЭО измерялись при комнатной температуре электролитическим методом в области энергии фотонов 1.2–2.0 eV со спектральным разрешением 3 meV. Спектры ПБЭО анализировались с помощью слабополевой теории с применением трехточечного метода.

В табл. 1 и 2 приведены параметры диодных и транзисторных структур и величины радиусов изгиба пластин до и после СВЧ-обработки.

Видно, что СВЧ-облучение даже в течение нескольких секунд приводит к значительным изменениям параметров диодных структур,

Таблица 1. Параметры диодных структур Au–Ti– n – n^+ –GaAs, измеренные до и после СВЧ-обработки

Параметры диодных структур	Время СВЧ-обработки, s							
	0	0.5	1	2	3	5	6	10
φ_B, V	0.63	0.64	0.66	0.69	0.72	0.72	0.72	0.72
n	1.35	1.35	1.3	1.22	1.15	1.15	1.15	1.15
I_b, A при $U_b = 4 V$	$4 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-9}$	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}
R, m	6.0	12.0	19.0	∞	∞	∞	∞	∞

Таблица 2. Параметры ПТШ, измеренные до и после СВЧ-обработки в течение 10 s

Параметры ПТШ	Исходный R, m			R после СВЧ-облучения, m		
	пластина № 1	пластина № 2	пластина № 3	пластина № 1	пластина № 2	пластина № 3
	$R_1 = \infty$	$R_2 = -2.82$	$R_3 = 4.53$	$R_1 = 2.9$	$R_2 = 11.9$	$R_3 = \infty$
I_2/I_1	1	1	1	0.8	1.08	1.3
$S, mA/V$	42	35	37	36	37	42

Здесь I_2/I_1 — отношение начальных токов стока облученного и исходного ПТШ, S — крутизна.

коррелирующим с еще большими изменениями радиуса изгиба пластин с сформированными на них приборными структурами:

- увеличивается высота барьера Шоттки φ_B ;
- уменьшается фактор идеальности n ;
- более чем на порядок величины уменьшается обратный ток I_b термогенерационной природы, а также увеличивается крутизна и начальный ток стока ПТШ.

Протекание процессов структурной релаксации в пластинах с топологией ПТШ существенно зависит от уровня структурного совершенства образцов и величины изгиба (табл. 2). Так, в образце с исходной величиной $R = \infty$ после СВЧ-облучения длительностью 5 s возникает изгиб $R = 2.9 m$, а параметры ПТШ при этом ухудшаются: уменьшается начальный ток стока и крутизна. В исходно-напряженных образцах с противоположными знаками изгиба оказалось, что один из

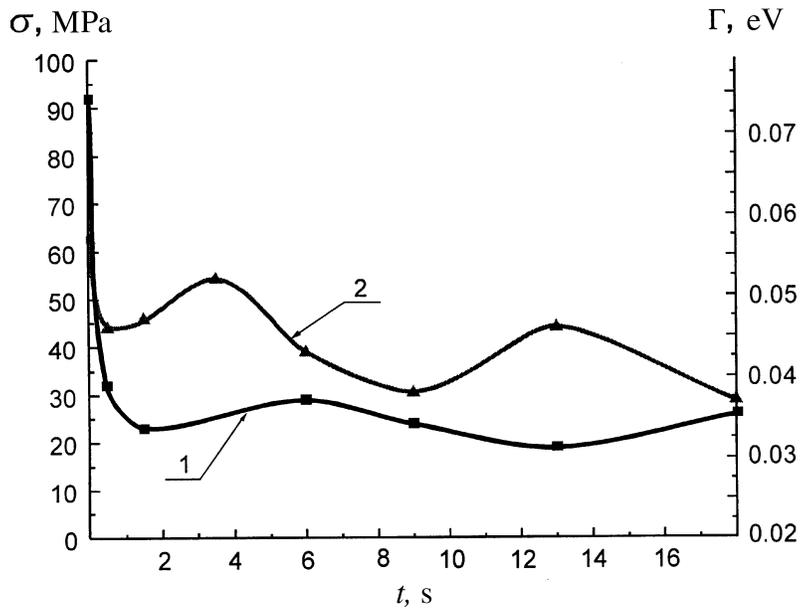


Рис. 1. Изменения внутренних механических напряжений (1) и столкновительного параметра уширения (2), вызванные СВЧ-обработкой.

них (пластина № 2) изменил величину и знак изгиба, а второй после СВЧ-облучения в течение 10s полностью отрелаксировал ($R = \infty$), при этом в обоих образцах улучшились параметры ПТШ. В образцах с $R = \infty$ изменения параметров наиболее существенны по сравнению с другими пластинами.

Максимальные изменения параметров диодных и транзисторных структур отмечаются при полной релаксации напряженного состояния ($R = \infty$).

Наблюдаемые эффекты можно объяснить, если принять во внимание возможность стимулированного СВЧ-облучением геттерирования дефектов в активной области приборной структуры, обусловленного релаксацией внутренних механических напряжений. Ранее эффекты релаксации напряжений и соответствующего геттерирования наблю-

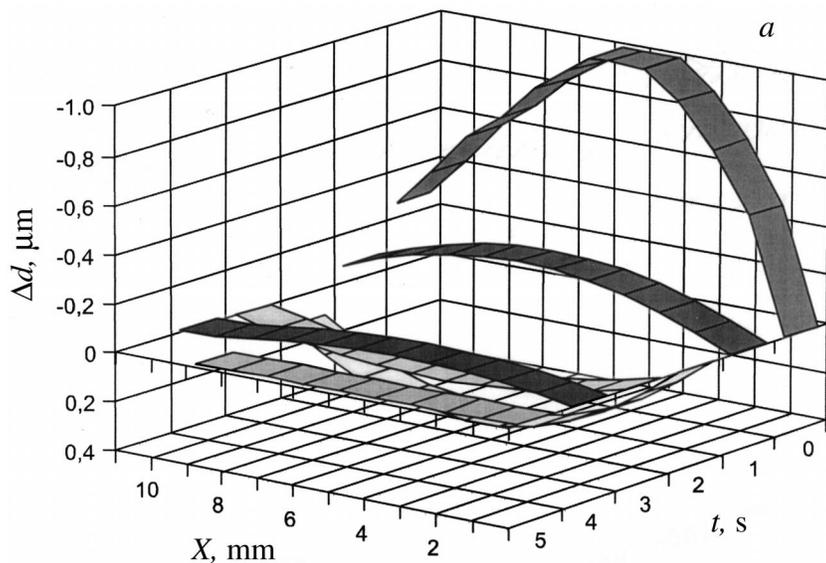


Рис. 2. Изменения профиля атомных плоскостей поверхности структур $n-n^+$ -GaAs (a) и Au-Ti- $n-n^+$ -GaAs (b) в результате СВЧ-обработки.

дались после термо-, радиационных, полевых и ультразвуковых воздействий [11,12]. Действительно, измеренные на профилометре радиусы изгиба тестовых структур $n-n^+$ -GaAs до и после микроволновой обработки в течение 0.5–10 s и рассчитанные по ним внутренние механические напряжения σ (рис. 1, кривая 1) позволяют утверждать, что величина σ после СВЧ-облучения уменьшилась примерно на полпорядка. Оценка для этих же образцов из измерений спектров ПБЭО параметра Γ (рис. 1, кривая 2), который характеризует структурное совершенство приповерхностного слоя $n-n^+$ -GaAs (чем меньше Γ , тем совершеннее приповерхностный слой полупроводника), показала, что он уменьшился в 1.5 раза. Согласно данным работы [13], это соответствует увеличению холловской подвижности в приповерхностном слое полупроводника и свидетельствует о процессе геттерирования. Изменения подобного типа имеют место в пластинах с топологией

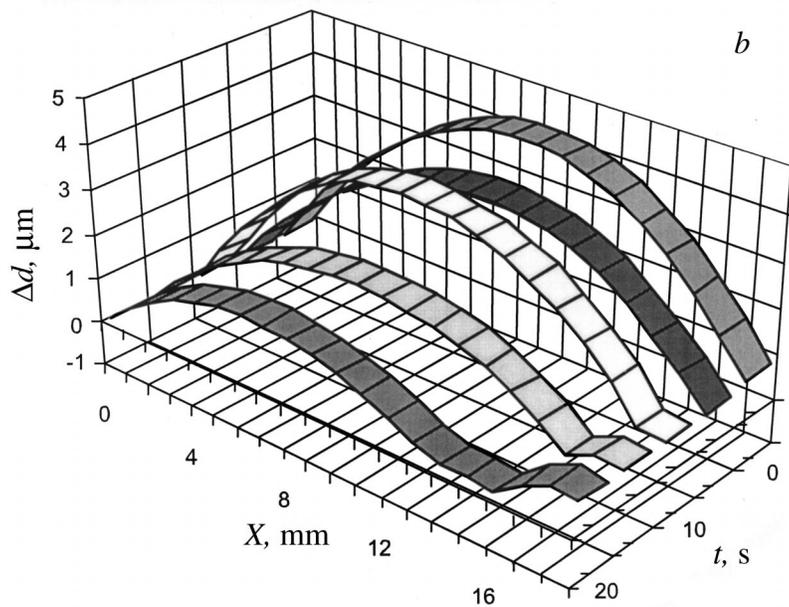


Рис. 2 (продолжение).

ПТШ, а также в барьерных структурах $\text{Au-Ti-n-n}^+\text{-GaAs}$, сопровождаются в соответствии с увеличением подвижности изменениями параметров для ПТШ ростом крутизны и тока стока, для диодных структур — уменьшением обратного тока термогенерационной природы. Аналогичная информация об изменении радиуса изгиба и релаксации внутренних механических напряжений в этих структурах получена методом рентгеновской дифрактометрии. На рис. 2, *a, b* приведены изменения профиля атомных плоскостей поверхности структур $n\text{-n}^+\text{-GaAs}$ и $\text{Au-Ti-n-n}^+\text{-GaAs}$ в результате СВЧ-обработки. Видно, что под действием микроволновой обработки в течение 5–10 с в обоих образцах возможно достижение полной релаксации внутренних механических напряжений. При этом по данным топографических исследований, базирующихся на явлении аномального прохождения рентгеновских лучей, распределение плотности дислокаций в $n\text{-n}^+\text{-структуре}$ GaAs носит

слабовыраженный W -подобный характер, который не изменяется после указанных выше режимов СВЧ-обработки. Зарождаются отдельные дислокации и распространяются по плоскостям скольжения от края в глубь подложки. Контраст от микровключений исчезает — включения распадаются. Изменения в дислокационной структуре таких образцов сопровождаются интенсивным перераспределением полей упругих деформаций и более однородным их распределением по образцу, что в приборных структурах, как с диодной, так и с транзисторной топологией, коррелирует с увеличением процента выхода приборов с идентичными параметрами.

Таким образом, из приведенных данных видно, что релаксация внутренних механических напряжений в GaAs приборных структурах с барьером Шоттки, стимулированная СВЧ-излучением частотой 2.45 GHz, удельной мощностью 1.5 W/cm^2 в течение 0.5–10 s, сопровождается структурно-примесным упорядочением в приконтактном слое GaAs, что обуславливает улучшение параметров диодных и транзисторных структур с барьером Шоттки.

Список литературы

- [1] Абдурахимов Д.Е., Вахидов Ф.Ш., Верещагин В.Л. и др. // Микроэлектроника. 1991. Т. 20. В. 1. С. 21–25.
- [2] Абдурахимов Д.Е., Верещагин В.Л., Калинушкин В.П. и др. // Краткие сообщения по физике. 1991. № 6. С. 27–29.
- [3] Пашков В.И., Перевоицков В.А., Скупов В.Д. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 8. С. 14–18.
- [4] Миленин В.В., Конакова Р.В., Статов В.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 4. С. 32–34.
- [5] Блудов С.Б., Гадецкий Н.П., Кравцов К.А. и др. // Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 7–8. С. 712–715.
- [6] Беляев А.А., Беляев А.Е., Ермолович И.Б. и др. ЖТФ. // 1998. Т. 68. № 12. С. 49–54.
- [7] Чумаков В.И. // Радиотехника. 1998. В. 106. С. 120–123.
- [8] Briantseva T.A., Lebedeva Z.M., Markov I.A. et al. // Appl. Surf. Sci. 1999. V. 272. P. 288–290.
- [9] Zohm H., Kasper E., Mehringer P., Muller G.A. // Microelectronic Engineering. 2000. V. 54. P. 247–253.
- [10] Кадуков А.Е., Разумов А.В. // Петербургский журнал электроники. 2000. № 2. С. 53–60.

- [11] *Структурная релаксация в полупроводниковых кристаллах и приборных структурах* / Под ред. проф. Ю.А. Тхорика. Киев: Феникс, 1994. 247 с.
- [12] *Венгер Е.Ф., Конакова Р.В., Миленин В.В. и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 1999. В. 3 (75). С. 60–73.*
- [13] *Борковская О.Ю., Груша С.А., Дмитрук Н.Л. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. № 10. С. 1977–1982.*