

НАКОПЛЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В p^+ - n -ДИОДАХ ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ ГЕЛИЯ

А. О. Задора

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, anastasyazadora@gmail.com
Научный руководитель — Н. И. Горбачук, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В работе рассмотрено влияние последовательного облучения высокоэнергетичными ионами гелия на p^+ - n -диоды энергиями 4,1 МэВ и 6,8 МэВ при флюенсах 10^{10} см⁻² и 10^{11} см⁻² на частотные зависимости импеданса при положительных напряжениях. Получены зависимости действительной и мнимой частей импеданса от частоты, годографы импеданса, отражающие накопление радиационных дефектов.

Ключевые слова: быстродействующий диод; импедансная спектроскопия; радиационные дефекты, частотные зависимости импеданса.

При разработке импульсных источников питания, быстродействующих интегральных схем применяются быстродействующие диоды (диоды с быстрым восстановлением обратного сопротивления [1]). Диоды характеризуются меньшим временем восстановления обратного сопротивления по сравнению с обычными диодами, что делает их более подходящими для использования в высокочастотных схемах. Для разработки технологий создания быстродействующих диодов необходима информация о влиянии облучения высокоэнергетичными ионами на состав дефектов и параметры диода, такие как импеданс, емкость, токи утечки, прямое падение напряжения и напряжение пробоя.

Радиационные технологии уже давно и успешно применяются в микроэлектронике для производства быстродействующих полупроводниковых устройств [2]. Состав радиационных дефектов, возникающих при облучении высокоэнергетичными тяжелыми ионами, отличается от состава дефектов, образующихся при облучении электронами или легкими ионами. В частности, существует высокая вероятность образования скоплений радиационных дефектов, а также многовакансионных и междоузельных комплексов [3].

Измерения зависимости импеданса от угла сдвига фаз проводилось на Agilent E4980A при постоянных напряжениях смещения в интервале от 20 Гц до 2 МГц. Действительная Z' и мнимая Z'' части импеданса Z вычислялись по формулам:

$$Z' = Z \cdot \cos\varphi, \quad Z'' = Z \cdot \sin\varphi; \quad (1)$$

где φ – угол сдвига фаз между колебаниями тока и напряжения [4].

При последовательном облучении ионами гелия p^+ - n -диодов наблюдается уменьшение действительной части импеданса с увеличением подаваемого положительного напряжения (рис. 1-4, а). Это явление связано с уменьшением активного сопротивления области пространственного заряда, что, в свою очередь, говорит о наличии радиационных дефектов в исследуемой структуре. Например, при напряжении $U = 0$ В (рис. 1, а) действительная часть импеданса составляет $Z' = 16,8$ МОм, тогда как при $U = 0,6$ В она снижается до $Z' = 14,63$ Ом. С увеличением флюенса также наблюдается снижение действительной части импеданса при 0,2 В с 28,4 кОм при последовательном облучении флюенсами 10^{10} см⁻² до 4,8 кОм при флюенсах 10^{11} см⁻².

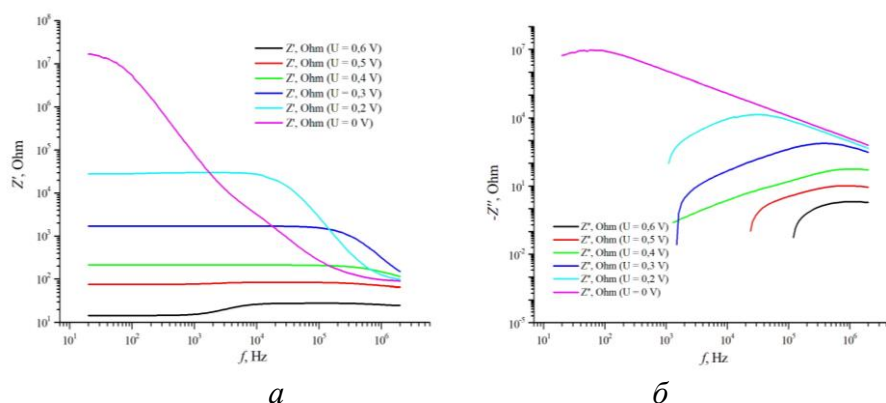


Рис. 1. Зависимости действительной части Z' (а) и мнимой части Z'' (б) импеданса от частоты f для последовательно облученного диода при режимах облучения 4,1 МэВ 10^{10} см⁻² и 6,8 МэВ 10^{10} см⁻²

При увеличении напряжения так же уменьшается и мнимая часть импеданса Z'' (рис. 1-4, б). С увеличением напряжения от 0 В до 0,6 В сопротивление области пространственного заряда уменьшается, в то время как емкость этой области увеличивается. В результате снижается пороговая частота – частота, на которой наблюдается дисперсионный спад действительной части импеданса Z' . Радиационно-нарушенный слой имеет сопротивление порядка 91 Ом (рис.1) при последовательном облучении флюенсами 10^{10} см⁻², 512 Ом (рис. 2), 494 Ом (рис.3), 709 Ом (рис. 4). Таким образом, величина генерационно-рекомбинационных токов, определяющих активное сопротивление радиационно-нарушенного слоя, зависит от энергии и флюенса облучения.

При увеличении флюенса облучения также уменьшается и мнимая часть импеданса $-Z''$, а, следовательно, уменьшается емкостная составляющая, и при этом увеличивается индуктивная. Например, при напряжении 0,6 В для диода, последовательно облученного ионами гелия при флюенсах 10^{11} см^{-2} (рис. 4, б), в диапазоне частот от 20 Гц до 2 МГц зависимость $-Z''(f)$ не наблюдается. Объясняется это тем, что значения $-Z''$ принимают только отрицательные значения, которые не отображаются в двойном логарифмическом масштабе, что, в свою очередь, говорит о том, что в структуре присутствует исключительно индуктивная составляющая. Таким образом, мнимая часть вместо вида $Z'' = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ сводится к виду $Z'' = \omega L$.

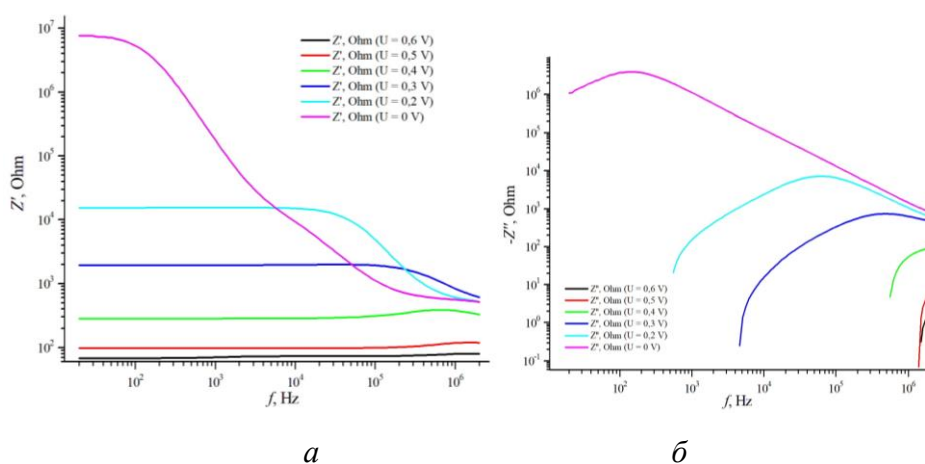


Рис. 2. Зависимости действительной части Z' (а) и мнимой части Z'' (б) импеданса от частоты f для последовательно облученного диода при режимах облучения $4,1 \text{ МэВ } 10^{10} \text{ см}^{-2}$ и $6,8 \text{ МэВ } 10^{11} \text{ см}^{-2}$

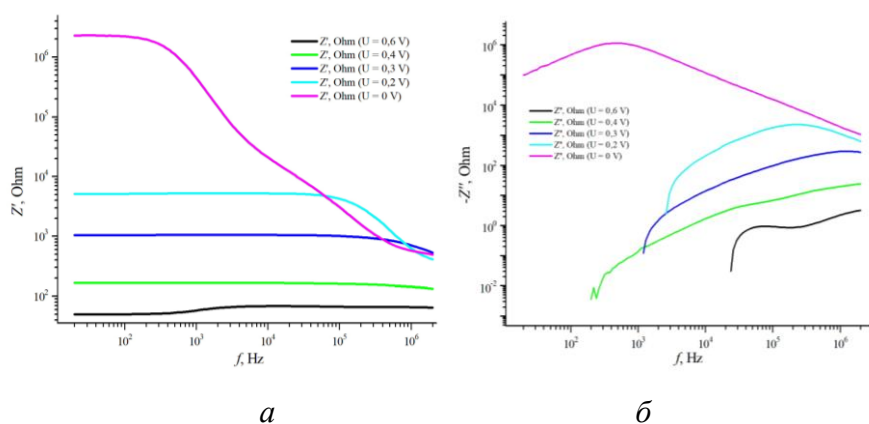


Рис. 3. Зависимости действительной части Z' (а) и мнимой части Z'' (б) импеданса от частоты f для последовательно облученного диода при режимах облучения $4,1 \text{ МэВ } 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и $6,8 \text{ МэВ } 10^{10} \text{ см}^{-2}$

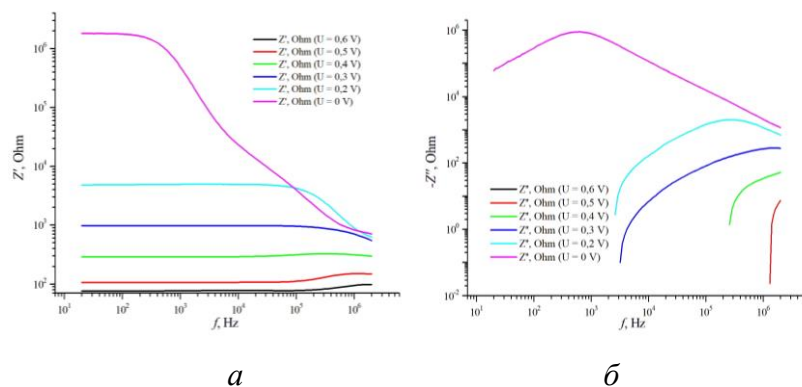


Рис. 4. Зависимости действительной части Z' (а) и мнимой части Z'' (б) импеданса от частоты f для последовательно облученного диода при режимах облучения $4,1 \text{ МэВ } 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и $6,8 \text{ МэВ } 10^{11} \text{ см}^{-2}$

Последовательное облучение структур высокоэнергетичными ионами гелия говорит о том, что концентрация радиационных дефектов влияет на значения Z' и Z'' в зависимости от f . Из-за этого на зависимостях $Z'(f)$ и $Z''(f)$ наблюдается расхождение низкочастотных значений (рис. 5 и табл.).

Действительная и мнимая части импеданса в начальной точке ($f = 20 \text{ Гц}$) при напряжении смещения 0 В

| Диод | $4,1 \text{ МэВ } 10^{10} \text{ см}^{-2}$ $6,8 \text{ МэВ } 10^{10} \text{ см}^{-2}$ | $4,1 \text{ МэВ } 10^{10} \text{ см}^{-2}$ $6,8 \text{ МэВ } 10^{11} \text{ см}^{-2}$ | $4,1 \text{ МэВ } 10^{11} \text{ см}^{-2}$ $6,8 \text{ МэВ } 10^{10} \text{ см}^{-2}$ | $4,1 \text{ МэВ } 10^{11} \text{ см}^{-2}$ $6,8 \text{ МэВ } 10^{11} \text{ см}^{-2}$ |
|--------------------|--|--|--|--|
| $Z', \text{ МОм}$ | 16,7 | 7,64 | 2,3 | 1,81 |
| $Z'', \text{ кОм}$ | 5403 | 1091 | 98,9 | 61 |

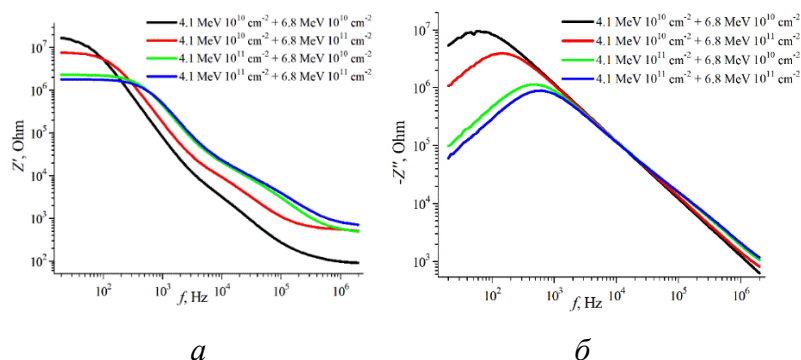


Рис. 5. Зависимости действительной Z' (а) и мнимой Z'' (б) частей импеданса от частоты f для последовательно облученных диодов при напряжении 0 В

Таким образом, установлено, что последовательное облучение высокоэнергетичными ионами гелия приводит к формированию радиационно-

нарушенного слоя и его влиянием на импеданс можно управлять, варьируя энергию и флюенс облучения.

Библиографические ссылки

1. Manufacturing process for fast recovery diode: pat. US 6,699,775 B2 / I. Bol. – Publ. date 02.03.2004.
2. Радиационные методы в твердотельной электронике / В. С. Вавилов [и др.]; под общ. ред. В.С. Вавилов. М.: Наука, 1988. 192 с.
3. Nastasi M., Mayer J.W. Ion implantation and synthesis of materials. Berlin, 2006. 273 p.
4. Поклонский Н.А. Основы импедансной спектроскопии композитов: курс лекций / Поклонский Н.А., Горбачук Н.И. Мн.: БГУ, 2005. 130 с.