

УДК 621.382

ЭФФЕКТ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ ПРИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР НА КРЕМНИИ

К. ф.-м. н. В. М. Попов, Ю. М. Шустов, А. С. Клименко, А. П. Поканевич

Научно-исследовательский институт микроприборов,
НТК «Институт монокристаллов» НАН Украины
Украина, г. Киев.
microic@voliacable.com

Исследовано влияние облучения ионами аргона с энергиями 2 — 6 кэВ на электрофизические свойства полупроводниковых структур на кремнии, сформированных по технологии интегральных схем. Установлено изменение свойств кремния на расстояниях от облучаемой поверхности, на порядки превышающих область непосредственного взаимодействия ионов с материалом. Показана возможность улучшения генерационно-рекомбинационных параметров кремния при облучении.

Ключевые слова: кремний, низкоэнергетические ионы, эффект дальнего действия.

Одним из актуальных направлений исследования в радиационной физике материалов является эффект дальнего действия (ЭД). Суть ЭД заключается в изменении свойств материалов, подвергаемых радиационному воздействию, на расстояниях, значительно превышающих размеры области взаимодействия излучения с веществом. Изучение этого явления представляет большой практический интерес применительно к полупроводниковым приборам, в которых ЭД может быть использован для целенаправленного улучшения их функциональных параметров.

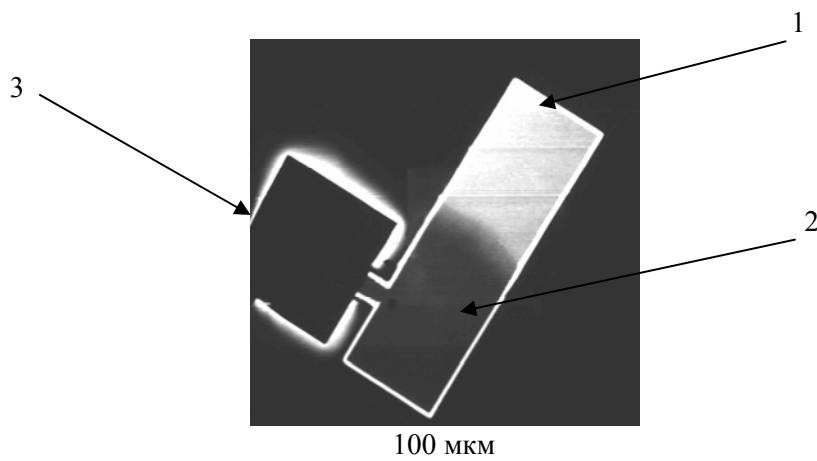
В большинстве работ, в которых наблюдался ЭД, облучение полупроводниковых материалов проводилось ионами средних и высоких энергий, протонами и альфа-частицами. Влияние низкоэнергетических ионов изучено недостаточно. В то же время в [1] было показано, что облучение кремния *p*-типа проводимости низкоэнергетическими ионами аргона является эффективным средством модификации свойств полупроводника на расстоянии, значительно превышающем область проникновения ионов в материал. Кроме того, имеется необходимость изучения ЭД не только в исходных полупроводниковых материалах, но и в технологических структурах микроэлектроники.

Целью данной работы являлось исследование влияния облучения низкоэнергетическими ионами аргона полупроводниковых структур на кремнии, сформированных по технологии больших интегральных схем (БИС).

Исследовались *p*—*n*-переходы, диоды Шоттки (Al—Si) и структуры «металл—диэлектрик—полупроводник» (МДП) на кремнии *n*- и *p*-типов проводимости. Структуры создавались в технологических процессах, применяемых в производстве МДП БИС. Толщина термически выращенного оксида SiO₂ в МДП структурах Al—SiO₂—Si находилась в пределах 800—2600 Å, а на поверхности *p*—*n*-переходов составляла порядка 1 мкм. Толщина алюминия равнялась 1,2 мкм. В ряде случаев на поверхности структур присутствовал слой пассивирующего оксида. Для исследования свойств технологических структур применялись методы электрофизических измерений, сканирующего светового зонда, растровой электронной микроскопии (РЭМ) в режиме токов, индуцированных электронным лучом (ТИЭЛ), эллипсометрии и микропрофилометрии поверхности. Структуры облучались на установке “IonTech” при энергиях ионов аргона 2—6 кэВ и плотностях тока 10—50 мкА/см². Дозы облучения не превышали 1·10¹⁷ 1/см². В процессе ионной бомбардировки происходило контролируемое травление поверхности материала. Облучения проводились через металлические и полимерные маски. Толщина удаленного материала (SiO₂, Al) не превышала несколько сотен ангстрем.

На основании комплексных исследований определено, что в результате бомбардировки поверхности *p*—*n*-переходов, покрытых оксидом, а также диодов Шоттки происходит изменение электрофи-

зических параметров кремния на глубине, более чем на два порядка превышающей толщину материала, удаленного на поверхности в процессе облучения, и на три-четыре порядка превышающей глубину взаимодействия ионов с веществом (SiO_2 , Al). Таким образом, имеет место ЭД в полупроводниковых структурах на кремнии. В $p-n$ -переходах и диодах Шоттки после облучения возрастают значения ТИЭЛ, наблюдаемые в РЭМ (см. рисунок). Одновременно на 10—15% увеличиваются фототоки в $p-n$ -переходах, измеренные с помощью сканирующего светового зонда. Эти данные свидетельствуют об увеличении диффузионной длины неосновных носителей заряда в кремнии под облучаемой поверхностью.



Изображение $p-n$ -перехода в РЭМ в режиме ТИЭЛ после ионного травления поверхности оксида (светлый контраст соответствует усилению ТИЭЛ):

1 — область ионного травления; 2 — область, не подвергнутая ионному травлению; 3 — контактная площадка на слое толстого оксида

Улучшение свойств объема кремния под границей раздела $\text{Si}-\text{SiO}_2$ после облучения подтверждено увеличением эффективного генерационного времени жизни неосновных носителей заряда в МДП-структурах. При этом ЭД проявляется как в случае ионной бомбардировки структур под пассивирующим оксидом, так и в случае их покрытия полимерной пленкой толщиной несколько микрометров. Таким образом, происходит улучшение генерационно-рекомбинационных параметров кремния, свидетельствующее о снижении концентрации электрически активных дефектов на глубине нескольких микрометров под поверхностью полупроводника. Рассмотрены возможные механизмы ЭД в кремнии.

Следовательно, обнаружен эффект дальнего действия при низкоэнергетическом ионном облучении поверхности полупроводниковых структур на кремнии, указывающий на перспективность его дальнейшего изучения в целях практического использования в технологии микроэлектроники.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Попов В.М., Шустов Ю.М., Клименко А.С., Поканевич А.П. Влияние облучения кремния низкоэнергетическими ионами аргона на образование в нем электрически активных дефектов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2009.— № 4.— С. 48—51.

Popov V.M., Shustov Y.M., Klimenko A.S., Pokanevich A.P.

Long-range effect at low energy ion irradiation of silicon-based semiconductor structures

The effect of irradiation by argon ions with energies of 2—6 keV on the electrophysical properties of silicon-based semiconductor structures formed by integrated circuit technology has been studied. The change in the properties of silicon was found at a distance from the irradiated surface significantly exceeding the size of direct interaction of ions with the material. The possibility of improving the generation-recombination parameters of silicon after irradiation was shown.

Keywords: *silicon, low-energy ions, long-range effect.*