

УДК 621.382

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ, ЛОКАЛИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ

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

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

Разработан комплекс электрофизических, электронно-микроскопических и жидкокристаллических методов, позволяющих определять наличие и пространственное распределение электрически активных дефектов в полупроводниковых структурах микроэлектроники. Возможна локализация отдельных дефектов и анализ их распределения как на поверхности, так и по глубине образцов. Локальность выявления дефектов составляет 1—3 мкм, а глубина их определения достигает 5—7 мкм.

Ключевые слова: электрически активные дефекты, кремний, МДП-структуры.

Одной из существенных причин деградации параметров и снижения надежности изделий микроэлектроники являются электрически активные дефекты (ЭАД) в полупроводниковых материалах и технологических структурах. ЭАД служат причиной усиления генерационно-рекомбинационной активности и появления глубоких энергетических уровней в полупроводнике, а также локальных изменений электрофизических параметров. В настоящее время наличие ЭАД в основном определяется по усредненным характеристикам генерационно-рекомбинационной активности полупроводника. Пространственное распределение дефектов, в частности их профили в приповерхностном слое полупроводника, изучены недостаточно. Целью работы являлась разработка комплекса информативных методов исследования ЭАД в системах диэлектрик—полупроводник (ДП) и металл—диэлектрик—полупроводник (МДП), обеспечивающих локализацию и определение пространственного распределения дефектов в технологических структурах больших интегральных схем (БИС).

Основными интегральными параметрами, характеризующими наличие ЭАД в полупроводнике, являются объемное генерационное время жизни τ_g и диффузионная длина неосновных носителей заряда L_d . Эффективным методом определения генерационно-рекомбинационных свойств МДП-систем являются динамические неравновесные вольт-амперные характеристики (ДНВАХ) и их модификации, обладающие повышенной чувствительностью к регистрации процессов генерации заряда по сравнению с традиционными высокочастотными вольт-фарадными характеристиками [1].

На основании ДНВАХ МДП-структур разработаны методы определения τ_g и его профилей в полупроводнике, отражающие распределение ЭАД в приповерхностном слое материала. Впервые предложен универсальный метод определения профиля τ_g в МДП-структурах, в которых концентрация легирующей примеси в полупроводнике N_d неоднородна по глубине. Методы позволяют исследовать τ_g в широком диапазоне значений данного параметра ($1 \cdot 10^{-9}$ — $1 \cdot 10^{-1}$ с). Глубина анализа профилей зависит от концентрации легирующей примеси и при типичных значениях $N_d = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ она составляет 5—7 мкм, и этого достаточно для контроля ЭАД в рабочем слое БИС. Исследованы профили τ_g в различных МДП-структурах БИС с неоднородным распределением ЭАД по глубине кремния.

Предложен новый метод определения диффузионной длины неосновных носителей заряда в полупроводнике по ДНВАХ МДП-структур, измеряемым при повышенных температурах. Установлено, что регистрация ДНВАХ при высоких скоростях линейно возрастающего напряжения (от 10^4 до 10^6 В/с) позволяет исключить влияние объемной генерации в полупроводнике и измерить вклад только диффузионной составляющей тока неосновных носителей заряда из квазинейтрального объема материала. В результате возрастает точность определения L_d и снижается температура измерения данного параметра в среднем на 40—

50°С по сравнению с известными методами, основанными на анализе релаксации высокочастотной емкости МДП-структур при повышенных температурах. Рассмотрена возможность исследования эффективных профилей L_d в полупроводнике. Впервые изучены эффективные профили L_d в приповерхностном слое кремния после облучения низкоэнергетическими электронами (см. рис. 1).

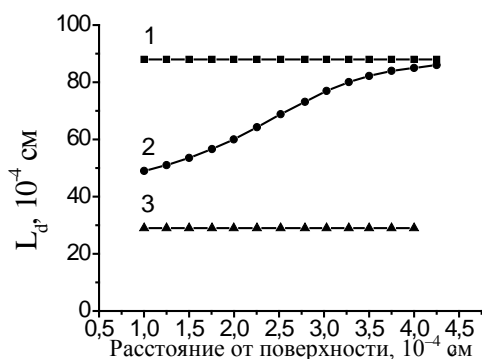
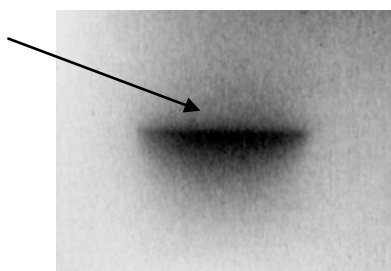
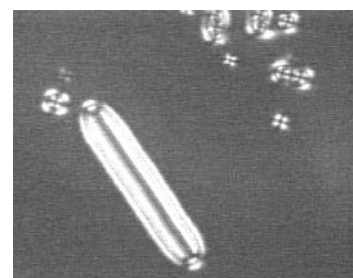


Рис. 1. Эффективные профили L_d в кремнии до (1) и после (2) облучения электронами (20 кэВ), а также усредненная величина L_d в облученном слое (3)



100 мкм

Рис. 2. Изображение локального ЭАД в кремнии под алюминиевым электродом, полученное методом РЭМ в режиме ТИЭЛ



20 мкм

Рис. 3. Изображения ЭАД, полученное методом НЖК, в системе Si-SiO₂ со сверхтонким оксидом (59Å)

В целях локализации ЭАД в технологических структурах разной конструкции разработан комплекс методов растровой электронной микроскопии (РЭМ) в режиме токов, индуцированных электронным лучом (ТИЭЛ), позволяющих визуализировать пространственное распределение дефектов под электродами МДП-структур и оценивать их распределение по глубине приповерхностного слоя полупроводника. Наиболее информативными тестовыми структурами являются управляемые МДП p - n -переходы [2] и специальные МДП-системы, совмещенные с диодами Шоттки [3]. Локальность методов составляет 1—3 мкм, а глубина анализа ЭАД достигает 5—7 мкм. Кроме того, разработаны методы нематических жидких кристаллов (НЖК) для визуализации ЭАД непосредственно на поверхности полупроводника в технологических структурах ДП со сверхтонким оксидом без формирования металлизации. Примеры локализации ЭАД в различных структурах приведены на рис. 2, 3.

Разработанная система комплексного контроля ЭАД прошла успешную апробацию при оптимизации процессов формирования структурных слоев на этапах изготовления различных типов изделий микроэлектроники, а также при отработке новых способов геттерирования ЭАД в кремнии.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Popov V. M., Pokanevich A. P., Panin A. I. Bulk generation lifetime studies in semiconductor structures with non-uniform distribution of electrically active defects in silicon // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.— 2002.— № 1—4.— P. 88—93.
2. Popov V. M., Klimenko A. S., Pokanevich A. P. Investigation of electrically active defects in Si-based semiconductor structures // Mater. Science and Engineering. — 2002. — В91- 92. — P. 248 — 252.
3. Патент № 94947, Україна. Спосіб виявлення локальних електрично активних дефектів на поверхні напівпровідника в структурах метал-діелектрик-напівпровідник / Попов В. М., Клименко А. С., Поканевич О. П., Шустов Ю. М.— 2011.— Бюл. № 12.

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

Development and implementation of methods for identification, localization and study of electrically active defects in semiconductor structures.

A set of electro physical, electron microscope and liquid crystal methods for determination of electrically active defects and their spatial distribution in microelectronic semiconductor structures has been developed. It is possible to localize individual defects and analyze their spatial distribution on the surface and in the depth of the samples. Locality of defect detection is 1—3 microns and the depth of their determination reaches 5—7 microns.

Keywords: *electrically active defects, silicon, MIS structures.*