

Интенсивность фотолюминесценции сильно уменьшается при нагреве образца, и фотолюминесценция практически исчезает при нагреве образца до 200 °С.

Предварительные исследования показали, что сигнал, связанный с желтой фотолюминесценцией, сильно изменяется по площади образцов AlGaIn / GaN / SiC и AlGaIn / GaIn / Al₂O₃.

Видно, что образцы на подложках карбида кремния более неоднородные по уровню фотолюминесценции по сравнению с образцами гетероструктур на сапфировых подложках. Причина неоднородности фотолюминесценции в образцах пока не установлена, но неоднородность фотолюминесценции свидетельствует о неоднородности свойств гетероструктур по их площади.

Для получения более подробных данных выполнена разработка установки для автоматического построения «карт фотолюминесценции» по площади образца. При этом можно контролировать 48 участков фотолюминесценции для гетероструктур диаметром 2 дюйма или 108 участков фотолюминесценции для гетероструктур диаметром 3 дюйма.

На специально изготовленных тестовых образцах выполнены исследования по установлению связи между величиной фотолюминесценции и удельным сопротивлением омических контактов, которые используются в технологии GaN HEMT; показано, что внедрение операций входного контроля дефектности пластин перед запуском в производство позволяет существенно повысить процент выхода годных и снизить себестоимость конечных изделий.

Литература

1. T. Suski, P. Perlin, N. Teisseyre, et al. // *Appl. Phys. Lett.* 67, 2188 (1995).
2. T. Kikkawa et al. // *Phys. Status Solidi (a)*, 206, 1135 (2009).
3. A. P. Young, J. Vae, L. J. Brillson et al. // *J. Vac. Sci. Technol.* B 18, 2309 (2000).
4. G. H. Jessen <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038110102000758> — CORImailto:jessen@ee.eng.ohio-state.edu, V. D. White, S. T. Bradley et al. // *Solid-State Electronics*, 46, № 9, 1427 (2002).

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ САПР СБИС

Моделирование элементов БИС с учетом радиационных эффектов

Петросяни К. О., д.т.н., профессор,

Научно-исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Московский институт электроники и математики), 123458, г. Москва, ул. Таглинская, д. 34, Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук, 124365, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Советская, д. 3, тел. +7 (495) 772 95 90, доб. 15208, kretosyanits@hse.ru

Разработаны библиотеки ТСАД- и SPICE-моделей интегральных биполярных и МОП-транзисторов, предназначенные для проектирования радиационно-стойких Би-КМОП БИС и учитывающие следующие виды радиационных воздействий: гамма-лучей, нейтронов, электронов, протонов, импульсного излучения и отдельных ядерных частиц (ОЯЧ).

ТСАД-RAD-модели разработаны для БТ на основе Si и SiGe, а также для МОП-транзисторов на объемном кремнии и со структурой триком затвора. С этой целью библиотека физических эффектов пакета Sentaurus Synopsys дополнена новыми радиационными моделями для подвижностей, времен жизни носителей заряда, концентрации дефектов и других электрофизических параметров. Часть моделей является универсальной для БТ и МОПТ, другая часть пригодна только для конкретных приборных структур. Для обеспечения необходимой

точности описания ВАХ и других характеристик п/п-прибора разра-ботаны процедуры подгонки параметров моделей под результаты фи-зических и электрических измерений тестовых структур.

SPICE-RAD-модели. Для Si БТ и SiGe ГБТ разработана универ-сальная модель, учитывающая влияние всех видов радиации. Эквива-лентная схема и система уравнений неизменны; для каждого вида ра-диации различаются только параметры элементов эквивалентной схемы.

По сравнению с аналогами в модели учтены радиационные сдвиги таких важных для БТ параметров, как $U_{\text{закнас}}$, U_A , $U_{\text{капроб}}$.

Для МОПТ на объемном кремнии и со структурой КНИ/КНС раз-работаны две версии радиационной модели, построенные на стан-дартных платформах моделей BSIM и EKV. Радиационные эффекты учитываются с помощью двух подходов: введения в модель дополни-тельных функций для радиационно-зависимых параметров и подкло-нения в эквивалентную схему дополнительных схемных элементов, учитывающих эффекты, вызванные радиацией.

Для определения параметров SPICE-RAD-моделей БТ и МОПТ разработаны методики, использующие программу-экстрактор па-раметров моделей IC-CAP и/или полуавтоматические процедуры, исходными данными для которых являются результаты измерений не-облученных и облученных транзисторов или результаты TCAD-RAD-облученных и облученных транзисторов или результаты программ моделирования. Модели включены в коммерческие пакеты программ SPECTRE, ELDO, HSPICE и др.

Точность TCAD- и SPICE-моделей составляет 10—15% при описа-нии статических характеристик, 20—25% — динамических.

Приведены примеры использования моделей для расчета цифро-вых и аналоговых фрагментов радиационно-стойких Би-КМОП БИС, изготовленных по различным технологиям.

Ключевые слова: БТ- и МОП-транзисторы, TCAD- и SPICE-модели, ради-ационная стойкость, САПР.

Алгоритмы оптимизации ретроградного легирования кармана КНИ МОП-транзистора

Амирханов А.В., Волков С.И., Глушко А.А., Зинченко Л.А., Макаруж В.В., к.т.н., Шахнов В.А., Юркин А.С., МВТУ

На базе системы приборно-технологического моделирования TCAD разработаны алгоритмы, с помощью которых была выполнена опти-мизация режимов двухступенчатого ретроградного легирования кар-мана КНИ *n*-канального МОП-транзистора, что позволило почти в 2,5 раза повысить пороговое напряжение паразитного «донного» транзистора, увеличив стойкость СБИС, производимых с использо-ванием оптимизированных режимов ретроградного легирования к на-копленной дозе радиации.

Известно, что стойкость СБИС, производимых по SOI-техноло-гии, к накопленной дозе ограничена величиной порогового напряже-ния так называемого паразитного «донного» транзистора, которое определяется величиной положительного заряда, захваченного отде-кающим окислом. Отсюда следует, что одним из способов увеличения стойкости к накопленной дозе является повышение концентрации ле-гирующей примеси в кармане КНИ *n*-канального МОП-транзистора вблизи отсекающего окисла, т.е. его ретроградное легирование.

В рассматриваемом технологическом маршруте формирование профиля легирования кармана КНИ *n*-канального МОП-транзистора проводится двухступенчатой ионной имплантацией. Для обеспечения ретроградности легирования кармана первая ступень выполняется с высокой энергией (порядка 70 кэВ) и большой дозой. Вторая ступень представляет собой имплантацию с малой энергией (порядка 15 кэВ). Именно она обеспечивает заданные свойства «основного» МОП-тран-зистора.

Задача оптимизации ставилась следующим образом: целевая функ-ция — пороговое напряжение паразитного «донного» транзистора; ва-рируемые переменные — энергии и дозы первой и второй ступеней ионной имплантации; функции ограничений — сохранение электро-физических параметров «основного» транзистора в заданных пределах.