

Технология кремниевых диодов – генераторов шума

В. Буслюк¹

УДК 621.382.2:539.2 | ВАК 05.27.06

Предложена и опробована технология кремниевых диодов – генераторов шума (ДГШ) со стабильной дислокационной структурой. Сущность данной технологии состоит в том, что стабильная дислокационная структура в зоне р-п-перехода достигается посредством эффективного управления распределением неконтролируемых примесей путем проведения процесса оплавления локальных зон с тыльной стороны пластин кремния (111) или (001) с помощью лазерного пучка. Процесс оплавления проводили в среде азота для получения включений Si_3N_4 , способствующих усилению генерации дислокаций и, как следствие, дополнительному расширению дислокационного следа на рабочей поверхности пластины. Стабильность получаемой дислокационной структуры, а также наличие в местах дислокаций примесных и вторичных атомов металлов в исследуемой конструкции ДГШ ND 103L подтверждены методом вторично-ионной масс-спектропии.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наметилось расширение использования генераторов шума в качестве средства защиты информации. Одним из наиболее простых электронных компонентов для их реализации служат диоды – генераторы шума, или шумовые диоды, принцип действия которых основан на генерации и рекомбинации носителей заряда в полупроводнике вблизи р-п-перехода, в результате чего при протекании тока создается сигнал шума определенного спектра [1]. Материалом для изготовления ДГШ может служить наиболее удобный в технологическом отношении монокристаллический кремний.

Для эффективной работы ДГШ требуется легирование кремния примесями, создающими глубокие уровни в запрещенной зоне [2]. Общим недостатком известных технических решений является перераспределение примесей в процессе работы ДГШ по всему объему кремния под действием механических напряжений, вследствие чего желаемое распределение примесей вблизи р-п-перехода является невозможным, а выход годных приборов – низким. Стабильная дефектная структура в активной области прибора может быть создана пучком лазера [3]. Под действием лазерного пучка возникают зоны оплавления, которые при сканировании пучка быстро охлаждаются и кристаллизуются в неравновесных условиях. За счет

этого создаются области повышенных механических напряжений, которые при последующей термообработке релаксируют с одновременным повышением концентрации привносимых включений и дефектов.

Одной из задач настоящей работы является стабилизация дислокационной структуры в кремниевых пластинах ориентации (111) и (001), что оказывает положительное влияние на воспроизводимость параметров ДГШ и их температурную и временную стабильность.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование микроструктуры и особенностей топологии ДГШ проводили методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) при помощи аппарата S-4800 (Hitachi, Япония), а также методом вторично-ионной масс-спектропии (SIMS) на времяпролетном масс-спектрометре TOF.SIMS 5 (IONTOF, Германия).

Контроль электрофизических параметров кристаллов осуществляли с использованием зондовой станции Cascade (США), а также на специализированном измерителе параметров шумовых диодов АКЖД (ОАО «Планар», Республика Беларусь).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 изображена структура ДГШ, в табл. 1 приведены параметры структуры.

Создание заданной дефектности в кремниевой пластине обеспечивается лазерным пучком, направленным с обратной стороны пластины, под действием которого

¹ Брестский государственный технический университет, доцент, заведующий лабораторией кафедры «ЭВМ и системы», b_viktor@tut.by.

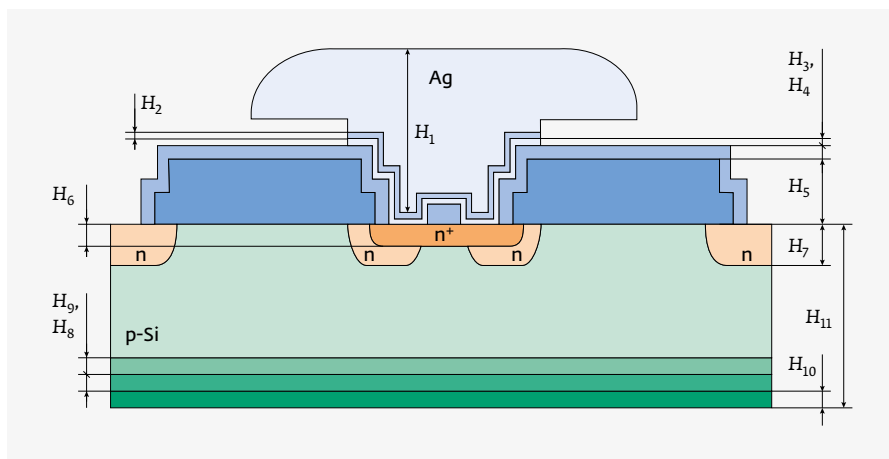


Рис. 1. Типовая структура ДГШ

Таблица 1. Параметры типовой структуры ДГШ

№	Элемент структуры	Толщина, мкм	Тип проводимости	Поверхностное (удельное) сопротивление
H ₁	Электрод	20 ± 5		
H ₂	Контактный слой	0,51 ± 0,07		
H ₃	Контактный слой	0,13 ± 0,03		
H ₄	Пассивирующий слой	0,1 ± 0,02		4 ± 0,5 Ом/□
H ₅	Базовый оксид	1,8 ± 0,2		
H ₆	Базовый слой	1,2 ± 0,2	n+	2 ± 0,5 Ом/□
H ₇	N-слой	6,5 ± 0,5	n	5 ± 0,5 Ом/□
H ₈	Контактный слой	0,13 ± 0,03		4 ± 0,5 Ом/□
H ₉	Контактный слой	0,77 ± 0,1		
H ₁₀	Контактный слой	0,153 ± 0,02		
H ₁₁	Подложка	150 ± 20	p	0,015 Ом·см

формируются параллельные зоны оплавления с определенной шириной и шагом.

В кремниевой пластине ориентации (111) с полированной рабочей поверхностью и толщиной, обеспечивающей необходимую прочность, на нерабочей стороне лазером формировали параллельные зоны оплавления с определенной шириной (10–100) мкм и шагом лазерного луча, в 1,5–5 раз большим его диаметра; при этом зоны оплавления ориентированы, по крайней мере, в одном из возможных кристаллографических направлений типа <112>.

Зоны оплавления содержали включения Si₃N₄. Включения нитрида кремния, образованного при взаимодействии расплавленного кремния с азотом, по сравнению

с диоксидом кремния являются более эффективными центрами зарождения дислокаций. Это обусловлено тем, что использование высоких температур при изготовлении приборов в сочетании с неспособностью Si₃N₄ к полиморфным превращениям приводит к возникновению более высоких механических напряжений на границе раздела Si–Si₃N₄, чем на границе Si–SiO₂ [4].

На рис. 2 схематически показано поперечное сечение кремниевой пластины с разметкой зон движения дислокаций, помеченных точками.

Процесс выполнялся на установке лазерного геттерирования ЭМ-227, которая позволяет регулировать размер лазерного пятна в широких пределах. Установлено, что оплавление поверхности кремния, необходимое для генерации дислокаций при минимальной скорости сканирования, наблюдается при диаметре пятна ~100 мкм. Процесс оплавления проводили в среде азота. Мощность лазерного луча составила от 80 до 120 Вт, скорость сканирования – от 0,3 до 1,2 м/с.

Последующий технологический процесс управления дислокациями включает высокотемпературный отжиг, одной из целей которого является образование кремниевых вакансий и межузельных атомов, термодиффузию примесей фосфора с одновременным технологически вносимым межузельным легированием фоновыми примесями (железо, медь, кальций). При этом вследствие наличия полей упругих напряжений, а также образования кислородных преципитатов происходят локализация технологических примесей в местах сосредоточения дефектов и стабилизация дефектно-примесного ансамбля. На рис. 3 представлена сетка дислокаций, сформированная примесями кальция при различных его концентрациях в местах расположения дефектов.

На основании экспериментальных исследований на ДГШ со структурой ND 103L установлено, что необходимая степень равномерности плотности генерируемых дефектов достигается при соблюдении условия $a = (1,5–5,0)d$. Дополнительным фактором, способствующим генерации

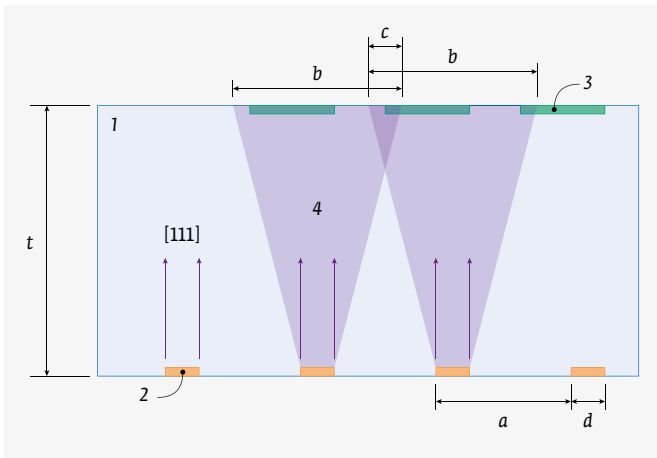


Рис. 2. Поперечное сечение кремниевой пластины: 1 – пластина; 2 – зона плавления; 3 – активная область; 4 – зона генерации дислокаций; a – шаг; b – дислокационный след; c – область перекрытия; d – ширина зоны плавления, t – толщина пластины

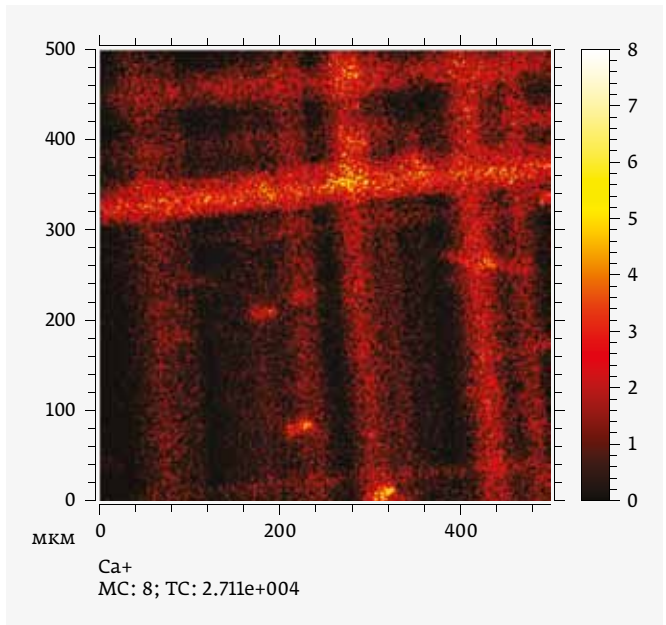


Рис. 3. Сетка дислокаций

дислокаций, является некоторая неоднородность края зоны оплавления, обусловленная как пульсацией лазерного луча, так и процессами конвекции расплавленного кремния.

Таким образом, предложенная технология позволяет добиться стабилизации дислокационной структуры в приборе, и проведенные исследования показали возможность устойчивого управления дефектностью высоколегированных кремниевых структур ДГШ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Буслюк В. В., Оджаев В. Б., Панфиленко А. К., Петлицкий А. Н., Просолович В. С., Филипня В. А., Янков-**

ский Ю. Н. Электрофизические параметры диодов генераторов широкополосного шума // Микроэлектроника. 2020. Т. 49. № 4. С. 314–320.

2. **Баранов В. В.** Изделия силовой электроники, датчики, биомедицинские технологии // Докл. БГУИР. 2019. № 3 (121). С. 70–75.
 3. Патент Республики Беларусь № 668 от 03.01.95. Способ лазерного геттерирования примесей в полупроводниковых пластинах / Э. К. Лашицкий, В. А. Зеленин, В. А. Пилипенко, В. И. Кульгачев, С. Б. Ластовский.
 4. **Кислый П. С.** Кремния нитрид // Химическая энциклопедия. Т. 2. М.: Советская энциклопедия, 1990. С. 519.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 840 руб.

НАНО-КМОП-СХЕМЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Вонг Б. П., Миттал А., Цао Ю., Старр Г. В.

При поддержке ООО «ТехноСтарт»
 Перевод с англ. под ред. д. т. н., проф. Н. А. Шелепина

Книга содержит весьма актуальные сведения по особенностям современных технологий СБИС, уровня 130–90 нм, которые необходимо знать и учитывать при проектировании. Эти сведения изложены в первом разделе (главы 1–3). Во втором разделе (главы 4–9) описаны соответствующие приемы проектирования на физическом уровне для схем смешанного сигнала и аналоговых компонентов. В третьем разделе (главы 10–11) рассмотрены приемы проектирования, обеспечивающие повышение выхода годных и учет вариаций технологического процесса.

Книга будет весьма полезна не только конструкторам, но и инженерам-технологам, осуществляющим разработку новых технологий и соответствующих правил проектирования.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
 2014. – 432 с.,
 ISBN 978-5-94836-377-6

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



HVGC серия

Высокомощное исполнение 100–1000 Вт
С широкополосным входом

- 180–528 В AC входной диапазон напряжений
- LED драйвер HL типа для использования в светильниках
- в опасных зонах Класс I, Раздел 2
- Встроенный потенциометр с функцией диммирования 3-в-1
- Класс защиты IP 67 для пыльной и влажной среды
- Высокая эффективность до 96%
- Опционально: программируемые и с технологией управления DALI
- 5 лет гарантии




Grow with
Confidence



ГОЛОВНОЙ ОФИС, ТАЙВАНЬ
MEAN WELL ENTERPRISES CO., LTD.

 www.meanwell.com
 +886-2-2299-6100
 info@meanwell.com

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО
MEAN WELL В РОССИИ

 www.meanwellrussia.com
 +7 (812)-622-06-08
 info@meanwellrussia.com



WEBSITE