

# Влияние магнитного поля, электрического поля и интенсивности освещения на параметры рекомбинационных волн в кремнии

Н. Ф. Зикриллаев<sup>а</sup>, М. М. Шоабдурахимова<sup>а</sup>, У. Х. Курбанова<sup>а</sup>,  
Н. Наркулов<sup>б</sup>, Ф. К. Шакаров<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Ташкентский государственный технический университет,  
Ташкент, 100095, Узбекистан, e-mail: shoabduraximova.m@gmail.com  
<sup>б</sup>Национальный университет Узбекистана, Ташкент, 100174, Узбекистан

Поступила в редакцию 10.07.2023

После доработки 11.01.2024

Принята к публикации 17.01.2024

Приводятся результаты экспериментальных исследований автоколебаний тока типа рекомбинационных волн (РВ) в кремнии, легированном примесными атомами селена. Определены зависимости параметров РВ (амплитуда и частота) в образцах Si<Se> от удельного сопротивления и концентрации образованных нанокластеров атомов селена, а также от влияния магнитного поля, которые дают возможность управлять амплитудой в интервале  $J = 10^{-5} - 5 \times 10^{-3}$  А и частоте автоколебаний  $f = 10^4 - 5 \times 10^6$  Гц. Показана возможность использования автоколебаний тока, наблюдаемых в кремнии, диффузионно-легированном примесными атомами селена, для создания твердотельных генераторов.

**Ключевые слова:** кремний, селен, диффузия, рекомбинационные волны, автоколебания, амплитуда, частота, магнитное поле, освещение

УДК 621.315.592

<https://doi.org/10.52577/eom.2024.60.1.106>

## ВВЕДЕНИЕ

Автоколебания тока различной природы наблюдались во многих полупроводниковых материалах и структурах [1–5]. Анализ результатов этих работ показывает, что автоколебания тока типа температурно-электрических неустойчивостей (ТЭН) наблюдаются при достаточно высоких электрических полях ( $E > 300$  В/см), относительно низких температурах (77–140 К), а также только при определенных значениях интенсивности монохроматического или интегрального света [6, 7]. Все эти особенности существенно затрудняют использование этого явления при создании новых электронных приборов с амплитудно-частотным выходом. Поэтому возбуждение автоколебаний тока с управляемыми параметрами при комнатной температуре и низких электрических полях является одной из актуальных задач современной электроники.

Из анализа литературных данных установлено, что рекомбинационные волны (РВ) наблюдаются в различных полупроводниковых материалах, механизм которых связан с концентрационными или концентрационно-полевыми неустойчивостями [8, 9]. Как известно, при различных внешних воздействиях в полупроводниковых материалах происходит перераспреде-

ление концентрации свободных носителей тока. Такое изменение приводит к перераспределению электронов между зоной проводимости и глубоким энергетическим уровнем, создаваемым примесными атомами в запрещенной зоне. При термодинамическом равновесии скорости генерации и рекомбинации носителей тока в полупроводнике будут равны. При воздействии электрического поля это равновесие может быть нарушено как в сторону преобладания генерации над рекомбинацией, так и в обратную сторону. Из-за этого в полупроводнике возникают токовые неустойчивости или так называемые рекомбинационные волны.

Впервые в работе [10] О.В. Константинов, В.И. Перель и Г.В. Царенков теоретически обосновали возможности возбуждения РВ, которые являются квазинейтральными колебаниями концентрации электронов и дырок в полупроводниках в запрещенной зоне с глубокими энергетическими уровнями примесных атомов с сильно различающимися сечениями захвата электронов и дырок ( $S_n \gg S_p$  или  $S_n \ll S_p$ ). Установлено, что РВ возникают при отсутствии разогрева образца в положительном участке вольт-амперной характеристики (ВАХ) и распространяются в полупроводниковом материале в виде продольных электрических волн.