

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОДНОЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ДИСЛОКАЦИИ

С.Г. РЗАЕВ

*Институт Физики АН Азербайджана,
Баку, 370143, пр. Г. Джавида, 33*

Исследована DC - проводимость вдоль ядра краевой дислокации в кремнии и установлено, ненасыщенные связи ядра создают кулоновские центры со слабо перекрывающимися потенциальными ямами, перекрытие которых при определенной пороговой величине электрического поля ($E = 0,84 \cdot 10^5$ В/см) усиливается и проводимость ядра становится металлической. При определенной температуре перекрытие снимается и проводимость ядра становится диэлектрической, т.е. ядро краевой дислокации претерпевает переход металл - изолятор.

Проблема электрической активности дефектов возникла одновременно с созданием первого полупроводникового транзистора и ей посвящены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования.

Проведенный анализ известных работ по исследованию электрически активных дефектов (ЭАД) показывает, что они все, без исключения, проводились в таких полупроводниковых приборах и кристаллах, которые содержали одновременно несколько дефектов различного вида и типа, а контролировался только один вид, т.е. изучение электрической активности каких-либо дефектов проводилось без учета наличия дефектов другого вида. В этих исследованиях не учитывалось так же место локализации дефектов по отношению к активным областям прибора, влияние на их электрическую активность величины и направления электрического поля, взаимодействие дефектов, а также функциональные и технологические особенности прибора [1-4]. Поэтому особую актуальность приобретает проведение исследований отдельных единичных ЭАД с учетом вышеуказанных особенностей, которые представляют большую научную и практическую ценность.

Из всех известных дефектов в полупроводниках, дислокациям, вследствие их широкого распространения и значительного влияния на электронные процессы, посвящено наибольшее число исследований. Однако, несмотря на это, ряд вопросов, связанных с электрической активностью дислокаций, до проведения настоящих исследований оставались нерешенными. Так, исследования электрической активности дислокации в зависимости от места ее локализации в приборе вообще не проводились: не установлена зависимость изменения электрической активности дислокаций как от величины, так и от направления электрического поля; не выяснен ряд существенных вопросов, связанных с энергетическим спектром дислокаций: является ли дислокационный спектр системой локальных уровней, одномерной зоной или системой нескольких зон? Какова ширина этих зон? Неизвестна степень локализации электронов в дислокационных состояниях, и как она изменяется под действием электрического поля. Как влияет зарядовое состояние ядра дислокации на ее энергетический спектр и проводимость. Кроме того, не изучена зависимость зарядового состояния ядра дислокации от величины и направления электрического поля, не выяснена роль примесной атмосферы в электрической активности дислокации, отсутствуют экспериментальные методы определения формы по-

тенциального барьера пространственного заряда дислокации.

Нерешенность указанных проблем объясняется отсутствием комплексных исследований, одновременно учитывающих все факторы, определяющие электрическую активность дефектов в полупроводниковых приборах: концентрация; тип; форма; ориентация; взаимодействие дефектов; место локализации в приборе; направление и величины внешнего электрического поля; функциональные особенности прибора.

Данная работа посвящена решению этих вопросов. Исследования проводились на эпитаксиально-планарных кремниевых р-п переходах, разработанных нами на базе тестовых ячеек серийных интегральных схем и изготовленных на промышленной технологии. Общий вид экспериментальных образцов приведен в [1,3]. Прежде чем приступить к изучению влияния дефектов на электронные процессы в исследуемых р-п структурах из анализа ВАХ и ВФХ, используя известные формулы и учитывая технологические особенности изготовления образцов, были определены их основные электрофизические параметры.

С целью установления корреляции между параметрами р-п структур и дефектами был использован широкий класс экспериментальных методов, основанных на различных электрофизических, электронно-микроскопических и металлографических явлениях: анализ ВАХ, ВФХ и ТСТ; методы растровой и просвечивающей электронной микроскопии (РЭМ, ПЭМ), релаксационной спектроскопии глубоких уровней (РС ГУ), металлографии.

Используя перечисленные методы, исследована электрическая активность дислокации в контролируемых условиях, т.е. учитывались тип, форма, наличие примесной атмосферы, место локализации в приборе и его функциональные особенности, взаимная ориентация электрического поля и дислокации, что позволило исключить статистический разброс измеряемых величин и однозначно интерпретировать полученные результаты. Из исследования электрической активности одной дислокации, выделенной из множества дислокаций в р-п переходе, в зависимости от ориентации внешнего электрического поля показано, что ее активность проявляется в различных формах. Установлено, что в перпендикулярном поле ядро дислокации без примесной атмосферы играет роль генерационно-рекомбинационных центров, которые обуславливают повышенные токи утечки и уменьшают напряжение пробоя р-п перехода [1,2]. На рис.1 показаны

кривые ТСТ р-п переходов с одной краевой вторичной дислокацией, перпендикулярной полю слоя объемного заряда (СОЗ). На основе анализа этих кривых показано, что краевая дислокация в кремнии создает глубокие центры донорного типа и определены их основные параметры: энергия активации (0,38 эВ); концентрация ($5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$); сечение захвата (10^{-20} см^2); коэффициент эмиссии ($5,33 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$). Высота потенциального барьера цилиндрического пространственного заряда, окружающего дислокацию, и коэффициент заполнения ненасыщенных связей ядра линейно изменяются с полем. Определена форма кривой потенциальной энергии взаимодействия краевой дислокации с носителями. Показано, что электронные состояния ненасыщенных связей ядра краевой дислокации в кремнии образуют энергетическую зону шириной $\sim 0,007 \text{ эВ}$, в которой плотность состояний экспоненциально растет от ее краев к середине и максимум плотности приходится на уровень $E_v + 0,38 \text{ эВ}$.

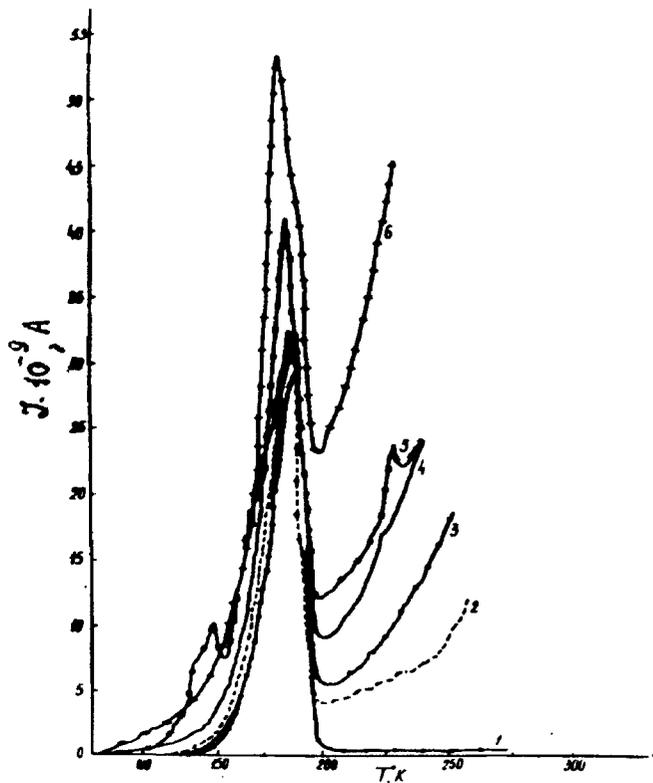


Рис. 1. Термостимулированные токи при различных величинах обратного смещения U_R на р-п переходе с одной активной дислокацией $U_R=0,2,3,4,5 \text{ В}$, соответственно, для кривых 1-5, скорость нагревания образца $0,35 \text{ град/с}$.

Исследована DC-проводимость вдоль ядра краевой дислокации в кремнии и установлено, что ненасыщенные связи ядра создают кулоновские центры со слабо перекрывающимися потенциальными ямами, перекрытие которых при определенной пороговой величине электрического поля ($E=0,84 \cdot 10^5 \text{ В/см}$) усиливается и проводимость

ядра становится металлической. При определенной температуре перекрытие снимается и проводимость ядра становится диэлектрической, т.е. ядро краевой дислокации претерпевает переход металл-изолятор [2-4]. Температура перехода металл-изолятор увеличивается с ростом электрического поля (рис.2а) и уменьшается с увеличением степени заполнения ненасыщенных связей ядра (рис.2б).

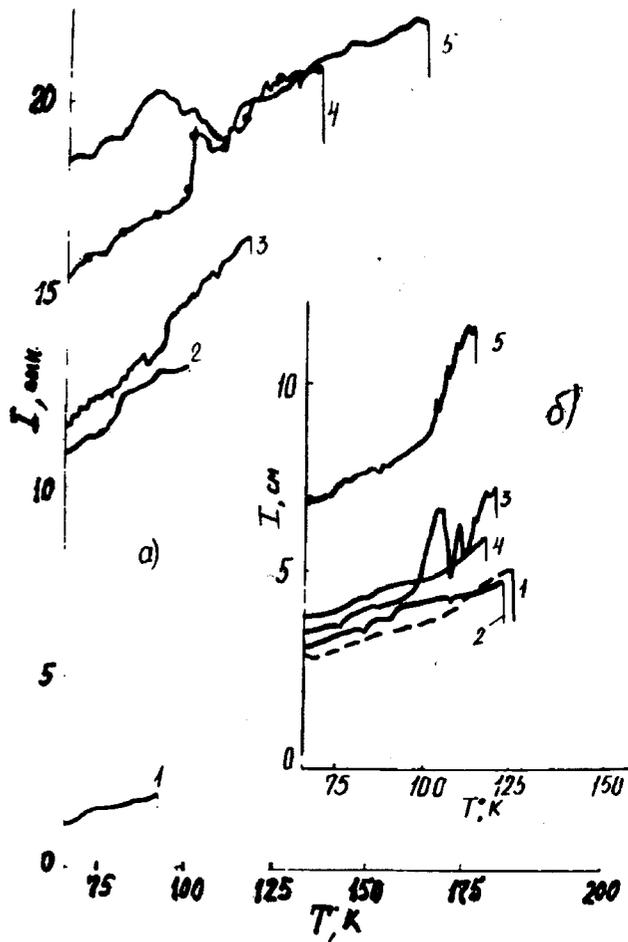


Рис.2. Температурная зависимость тока I вдоль дислокации а) - при различных обратных смещениях на р-п переходе $U_R=1,2,3,4,5 \text{ В}$, соответственно для кривых 1-5; б) - от тока зарядки дислокации. Кривым 1-5 соответствуют следующие значения прямого тока: $1 \cdot 10^{-9}$, $1 \cdot 10^{-7}$, $1 \cdot 10^{-6}$, $1 \cdot 10^{-5} \text{ А}$. Величина тока I приведена в относительных единицах, одному делению соответствует ток $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ А}$.

Наблюдаемый переход металл-изолятор объясняется сильными корреляционными эффектами. Хаббардовское взаимодействие электронов приводит к расщеплению дислокационной зоны на полностью заполненную и пустую, вследствие чего проводимость ядра становится диэлектрической. Определена энергетическая структура дислокационной зоны в кремнии.

[1] С.Г. Рзаев, А.Г. Абдуллаев. Микроэлектроника, 1984, т. 13, в. 3, с. 260-263.
[2] С.Г.Рзаев. ЭТ, сер. "Материалы", 1991, в. 7, с.23-26.

[3] С.Г.Рзаев, Э.П.Нахмедов. ФТТ, 1993, в.4, с.1038-1042.
[4] S.G.Rzayev. Second Internat. School-conference PPMSS' 97, Chernivtsy, 1997.

S.Q. Rzayev

İZOLƏ EDİLMİŞ TƏK DİSLOKASIYANIN ELEKTRİK AKTİVLİYİ

Silisiyuma izolə edilmiş tək qıraq dislokasiya boyunca DC-keçiriciliyi tədqiq edilmişdir və müəyyənləşdirilmişdir ki, dislokasiyanın özəyində doymamış rabitələr bir-birini zəif bürüyən Kulon mərkəzləri yaradır. Elektrik sahəsi müəyyən həddə ($E=0,84 \cdot 10^5$ V/sm) çatdıqda bürümə artır və özəyin keçiriciliyi artıb metalik olur. Müəyyən temperaturda bürümə aradan qalxır və keçiricilik dielektrik xarakterli olur, yə'ni dislokasiyanın özəyində metal-izolyator keçidi müşahidə olunur.

S.G. Rzayev

ELECTRICAL ACTIVITY OF THE ONE ISOLATED DISLOCATION

There have been investigated DC-conductivity along edge dislocation in Si and it is established that nucleus broken bonds give rise to Coulomb centres with weakly overlapping potential well-overlap of these wells at certain threshold quantity of electric field ($E=0.84 \cdot 10^5$ V/cm) reinforces and conductivity of nucleus becomes metal. At temperature overlap takes off and nucleus conductivity becomes insulator, i.e. nucleus edge dislocation undergo metal-insulator transition.