

УДК 621.315.592

**ДИАГНОСТИКА МЕТОДОМ ЭПР СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИЭЛЕКТРИКА В СИСТЕМЕ Si-SiO₂ В ПРОЦЕССЕ
ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ**

**Олешкевич А. Н.¹, Сернов С. П.², Просолович В. С.¹, Лапчук Т. М.¹, Пилипенко В. А.³,
Ковальчук Н. С.³, Лапчук М. Ю.¹**

¹Белорусский государственный университет

²Белорусский национальный технический университет

³ОАО «ИНТЕГРАЛ»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе проводились исследования пластин монокристаллического кремния с ориентацией [100], *p*-типа проводимости с основной легирующей примесью бора, удельным сопротивлением 12 Ом·см либо 0,005 Ом·см, с последующей обработкой согласно режиму технологической операции. Цель работы заключалась в изучении методом ЭПР влияния УФ-излучения на стабильность модифицированного ионной имплантацией поверхностного слоя кремния после процесса быстрого термического отжига. Облучение УФ излучением исследуемых образцов показало, что их сопротивление в микроволновом диапазоне измерений и резонансная частота возрастают, а при последующем облучении структур и регистрации спектров ЭПР наблюдается стабилизация резонансной частоты.

Ключевые слова: электронный парамагнитный резонанс, высокотемпературный отжиг, имплантация ионов, окисления кремния, быстрые термообработки, УФ-облучение

**EPR DIAGNOSTICS OF THE STABILITY OF ELECTROPHYSICAL PARAMETERS
OF A MULTIFUNCTIONAL DIELECTRIC IN THE Si-SiO₂ SYSTEM DURING ITS
TECHNOLOGICAL MODIFICATION**

**Oleshkevich A.¹, Sernov S.², Prosolovich V.¹, Lapchuk T.¹, Pilipenko V.³,
Kovalchuk N.³, Lapchuk M.¹**

¹Belarusian State University

²Belarusian National Technical University

³JSC «INTEGRAL»

Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The work was carried out to study single-crystal silicon wafers with the orientation [100], *p*-type conductivity with the main dopant of boron, specific resistance of 12 Ohm·cm or 0.005 Ohm·cm, with subsequent processing according to the mode of the technological operation. The aim of the work was to study the effect of UV-radiation on the stability of the surface layer of silicon modified by ion implantation after the process of rapid thermal annealing using the EPR method. Irradiation of the studied samples with UV-radiation showed that their resistance in the microwave measurement range and resonant frequency increase, and with subsequent irradiation of the structures and recording of the EPR spectra, stabilization of the resonant frequency is observed.

Key words: electron paramagnetic resonance, high-temperature annealing, ion implantation, silicon oxidation, rapid heat treatments, UV-irradiation

*Адрес для переписки: Сернов С. П., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: ssernov@bntu.by*

Срок службы МОП транзисторов во многом зависит от стабильности, а значит надежности параметров подзатворных оксидных слоев. Возникновение в них пробоя вызвано процессом образования проводящих каналов в подзатворном оксиде в результате влияния эффектов нейтральных и заряженных дефектов [1]. Одним из основных видов отказа МОП транзисторов является именно пробой подзатворного (обычно SiO₂) диэлектрика, на его долю приходится около 50 % брака.

Цель работы – изучение стабильности модифицированного ионной имплантацией и быстрым термическим отжигом поверхностного слоя кремния после облучения УФ-излучением.

Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) исследованы образцы монокри-

сталлического кремния с ориентацией [100], *p*-типа проводимости с основной легирующей примесью бора, удельным сопротивлением 12 Ом·см либо 0,005 Ом·см. Измерения ЭПР проводились с применением спектрометра «RadioPAN» SE/X-2543/ Изменение добротности резонатора оценивалось по амплитуде линии ЭПР эталона рубина, который закреплен на торцевой стенке резонатора. Во время измерений плоскость образца была перпендикулярна направлению внешнего поляризующего магнитного поля.

Для улучшения эксплуатационных параметров и надежности МОП- транзисторов проводилась соответствующая модификация подзатворных оксидных слоев с использованием азотирования, БТО и термического отжига при высоких

температурах [2]. Стабильность параметров модифицированных структур проверялась с использованием УФ-излучения, которым облучались образцы, и контролировалась в процессе многократной записи спектров ЭПР до и после их облучения. Энергия кванта УФ-излучения достаточна для разрыва химических связей или десорбции адсорбированных частиц. Процессы, происходящие в подзатворном оксидном слое и влияющие на парамагнетизм исследуемых образцов во время регистрации спектров ЭПР, контролировались по изменению двух не зависящих друг от друга параметров: 1) амплитуды эталонного образца рубина, закрепленного на стенке резонатора и 2) регистрируемой с помощью частотомера ЯЗЧ – 54 частоты клистроны.

Из рисунка 1 видно, что амплитуда сигнала ЭПР эталонного образца, как и резонансная частота, увеличились после облучения УФ-излучением, что является следствием роста сопротивления исследованных структур после воздействия на них УФ-излучения. Похожая зависимость наблюдается для всех облученных УФ-излучением образцов.

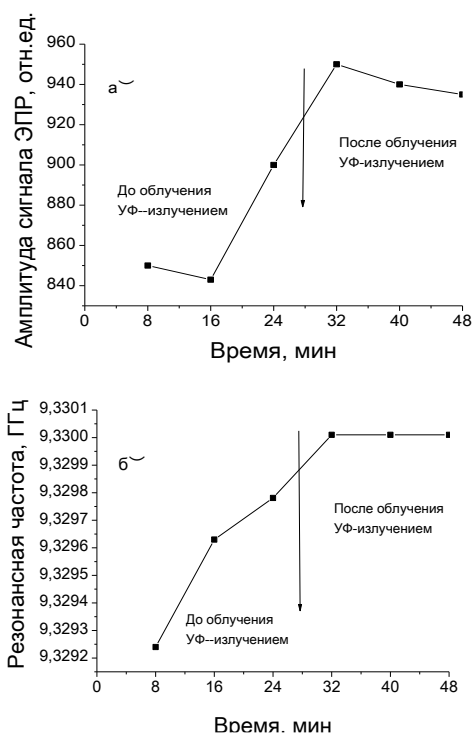


Рисунок 1 – Кинетика изменения амплитуды (а) и резонансной частоты (б) сигнала ЭПР эталонного образца при регистрации спектров ЭПР в образце кремния с удельным сопротивлением $0,005 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ до и после его облучения УФ-излучением (образец имплантирован ионами азота с энергией 40 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ в планарную сторону и отожжен в режиме БТО при $T = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 15 с)

Увеличение сопротивления образца после поглощения УФ излучения объясняется захватом атомов кислорода на не скомпенсированные химические связи внутри окисного слоя. При последующих измерениях облученных УФ-излучением образцов их сопротивление стабилизируется и на графиках наблюдается насыщение, как частоты, так и амплитуды сигнала ЭПР эталонного образца.

Облучение УФ-излучением образцов исходного кремния и окисленного мало влияют на относительное изменение амплитуды сигнала ЭПР эталонного образца и резонансной частоты. Поэтому можно сделать вывод, что все процессы возбуждения и релаксации после УФ-воздействия на структуры происходят в модифицированных подповерхностных слоях на границах раздела $\text{Si} - \text{SiO}_2$, куда обычно стекаются все несовершенства структуры кристалла.

На рисунке 2 показана зависимость изменения частоты резонатора при вращении в нем модифицированного (1) и исходного (2) образцов кремния с удельным сопротивлением $0,005 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

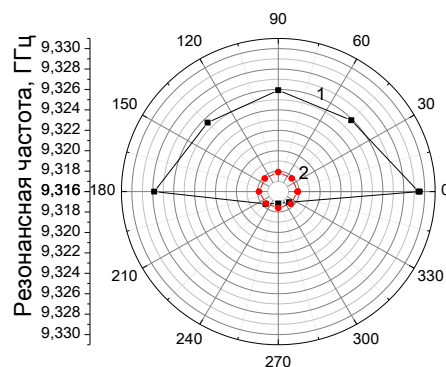


Рисунок 2 – Зависимость изменения частоты резонатора при вращении в нем относительно поляризующего магнитного поля образцов модифицированного (1) и исходного (2) кремния с удельным сопротивлением $0,005 \text{ Ом}\cdot\text{см}$

Наблюдаемая анизотропия резонансной частоты при вращении образца относительно направления поляризующего магнитного поля есть следствие того, что эффективная поверхностная плотность заряда сосредоточена на границе раздела $\text{Si} - \text{SiO}_2$, где и происходят все приведенные выше эффекты.

Литература

1. Borisenko, V. E. Rapid Thermal Processing of Semiconductors / V. E. Borisenko, P. J. Hesketh // New York: Springer Science & Business Media, 1997.
2. Pilipenko, V. A. Thermal oxidation model of silicon during rapid heat treatment / V. A. Pilipenko // Vestnik BGU. Seriya 1, Fizika. Matematika. Informatika. – 2006. – № 2. – С. 35–39.