

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАМАГНЕТИЗМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ИОНАМИ АЗОТА И ОТОЖЖЕННОЙ В ПРОЦЕССЕ БТО ПЛЕНКИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

А. Н. Олешкевич, В. Б. Оджаев, В. С. Просолович,
Т. М. Лапчук, Н. М. Лапчук

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь
e-mail: oleshkevich@bsu.by*

Анализировались спектры ЭПР кремниевого образца с пленкой диоксида кремния, имплантированной ионами азота с энергией 40 кэВ и дозой $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, с последующим процессом БТО при $T = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 15 с на воздухе, до и после облучения УФ излучением. Исследовалась стабильность модифицированного поверхностного слоя кремния к воздействию ультрафиолетового излучения с длиной волны 254 нм.

Ключевые слова: пленки диоксида кремния; ионы азота; быстрый термический отжиг; парамагнетизм; ультрафиолетовое излучение.

EFFECT OF ULTRAVIOLET RADIATION ON THE PARAMAGNETISM OF A SILICA FILM MODIFIED BY NITROGEN IONS AND ANNEALED IN THE BTO PROCESS

A. N. Oleshkevich, V. B. Odzhaev, V. S. Prosolovich,
T. M. Lapchuk, N. M. Lapchuk

*Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus
Corresponding author: A. N. Oleshkevich (oleshevich @bsu.by)*

The EPR spectra of a silicon sample with a silicon dioxide film implanted with nitrogen ions with an energy of 40 keV and a dose of $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ were analyzed, followed by a RTA process at $T = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ for 15 s in air, before and after UV irradiation. The stability of the modified surface layer of silicon to the action of ultraviolet radiation with a wavelength of 254 nm was studied.

Key words: silicon dioxide films; nitrogen ions; fast thermal annealing; paramagnetism; ultraviolet radiation.

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии управляемого изменения атомного состава для преобразования полупроводников в диэлектрики под действием ионного облучения позволяют производить модификацию поверхностных слоев полупроводниковых кристаллов, используемых в электронике [1–3]. В работе [4] показано, что окисленный диэлектрический слой кремния является аморфным, а между монокристаллом и оксидом кремния существует дефектный слой неокисленного кремния, характеризующийся наличием дефектов упаковки и зон разориентации отдельных монокристаллических блоков. Такие структуры в отличие от монокристаллического кремния приводят к неустойчивым локальным напряжениям на границах раздела SiO_2/Si , которые с

течением времени уменьшаются за счет релаксации. Диагностировать протекание релаксационных процессов в таких системах до и после внешних воздействий на них возможно с помощью метода ЭПР [5].

Цель работы – методом ЭПР изучить влияние УФ излучения на стабильность модифицированного ионной имплантацией поверхностного слоя кремния после процесса быстрого термического отжига.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовались образцы КДБ с ориентацией (111) и удельным сопротивлением 12 Ом·см. Пленки диоксида кремния, сформированные на поверхности монокристаллического образца кремния, облучались ионами азота с энергией 40 кэВ и дозой $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, с последующим процессом БТО при $T = 1050^\circ\text{C}$ в течение 15 с на воздухе.

Регистрация спектров ЭПР осуществлялась на модифицированном спектрометре «RadioPAN» SE/X-2543 в X-диапазоне при включенной автоподстройке частоты клистрона по частоте СВЧ-резонатора с типом колебаний H_{102} . Поляризующее магнитное поле модулировалось с частотой 100 кГц; чувствительность спектрометра $\approx 3 \times 10^{12}$ спин/мТл. Параметры спектров ЭПР рассчитывались с учетом изменения добротности резонатора при анализе линии ЭПР эталона рубина, закрепленного на стенке резонатора. Плоскость образца при измерении ориентирована перпендикулярно направлению внешнего поляризующего магнитного поля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованных образцах кремния спектры ЭПР с характерным фактором спектроскопического расщепления 2,0055 не наблюдались. После облучения образцов УФ излучением мощностью 36 Вт и длиной волны 254 нм в течение 20 мин. со стороны окисной пленки кремния спектры ЭПР также не были обнаружены.

Однако на образец, до и после облучения УФ излучением, во время измерений оказывают влияние СВЧ излучение и поляризующее магнитное поле. Поэтому, процессы, влияющие на парамагнетизм исследуемого образца во время регистрации спектров ЭПР (например, изменение удельного сопротивления образца, а, следовательно, изменение добротности резонатора и резонансной частоты) были обнаружены и контролировались по изменению трех, не зависящих друг от друга, параметров:

1. амплитуда эталонного образца рубина, закрепленного на стенке резонатора;
2. амплитуда сигнала ЭПР, регистрируемого в кварцевом стержне, на который крепился образец;
- 3) регистрируемая с помощью частотомера ЯЗЧ-54 частота клистрона.

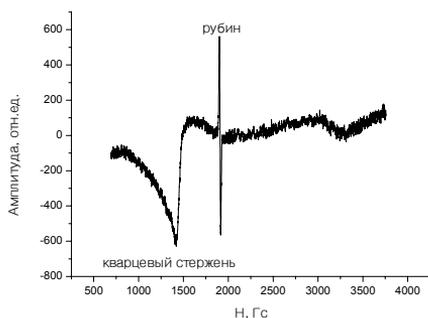


Рисунок 1. Спектр ЭПР, зарегистрированный в исследуемом образце кремния, облученном ионами азота с энергией 40 кэВ и дозой $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, с последующим процессом БТО при $T = 1050^\circ\text{C}$ в течение 15 с на воздухе

На рисунке 1 представлен спектр ЭПР, зарегистрированный в исследуемом образце кремния, облученном ионами азота с энергией 40 кэВ и дозой $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, с последующим процессом БТО при $T = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 15 с на воздухе.

Первая линия, наблюдаемая в спектре ЭПР в районе магнитного поля 1500 Гс, принадлежит кварцевому стержню, на который крепился образец. Узкий симметричный сигнал, регистрируемый в магнитном поле порядка 2000 Гс, принадлежит эталонному образцу.

После облучения образца УФ излучением в течение 20 минут со стороны окисной пленки кремния регистрация спектров ЭПР проводилась с одинаковым интервалом по времени. Всего осуществлялось шесть циклов измерений: два цикла до облучения УФ и четыре цикла после облучения. Обработка спектров ЭПР показала, что чувствительными к воздействию УФ излучения, магнитного поля и поля СВЧ-излучения, являются такие параметры, как амплитуда сигнала ЭПР эталонного образца и резонансная частота. Изменение амплитуды сигнала ЭПР кварцевого держателя обусловлено, в основном, увеличением добротности резонатора.

На рисунке 2 приведена зависимость амплитуды сигнала ЭПР эталонного образца рубина, закрепленного на стенке резонатора (1) и кварцевого держателя с закрепленным на нем образцом кремния (2).

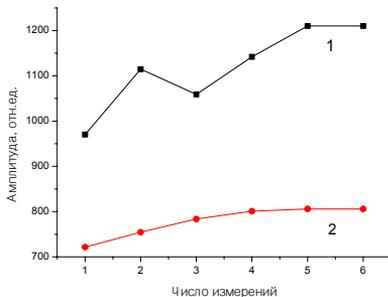


Рисунок 2. Зависимость амплитуды сигнала ЭПР: 1 – эталонного образца рубина, закрепленного на стенке резонатора; 2 – кварцевого держателя с закрепленным на нем образцом кремния

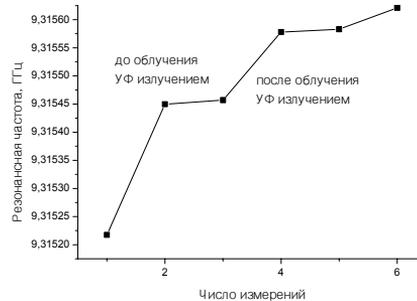


Рисунок 3. Зависимость частоты резонатора при регистрации спектров ЭПР в образце кремния до и после его облучения УФ излучением

Из рисунка 2 видно, что в процессе измерений амплитуды сигналов ЭПР эталонного образца и кварцевого держателя изменяются нелинейно, увеличиваются по мере увеличения числа измерений и выходят на насыщение. Стоит отметить, что эталонный образец фиксирует изменение ситуации в резонаторе, обусловленной вносимыми нерезонансными потерями измеряемым объектом. В нашем случае измеряемый объект – это кварцевый держатель и закрепленный на нем образец. Сам кварцевый держатель не подвергается УФ облучению, следовательно, он вносит одинаковые потери при каждом последующем измерении. Его амплитуда будет зависеть только от добротности резонатора. Тогда амплитуда сигнала ЭПР эталонного образца будет

зависеть только от изменения электрофизических свойств исследуемого образца кремния.

На рисунке 3 показана зависимость частоты резонатора при регистрации спектров ЭПР в образце кремния до и после его облучения УФ излучением. Из рисунка 3 видно, что в процессе измерений резонансная частота изменяется нелинейно – увеличивается по мере увеличения числа измерений, имея участки насыщения до и после облучения УФ излучением. Эта зависимость коррелирует с изменением амплитуды сигнала ЭПР эталонного образца (рис. 2, кривая 1).

Рост амплитуды регистрируемых сигналов ЭПР и выходом ее зависимости на участок насыщения можно объяснить изменением сопротивления образца кремния под действием внешних факторов, таких как изменение величины поляризующего магнитного поля и воздействие УФ излучения. Увеличение сопротивления кремния до облучения может быть вызвано снятием напряжений в модифицированной пленке диоксида кремния, обусловленных неравномерным распределением электрического заряда на границе раздела SiO_2/Si под действием магнитного поляризующего поля и поглощаемого образцом магнитной компоненты СВЧ поля. После поглощения УФ излучения на границе раздела окисел/кремний может уменьшиться концентрация кислорода, уходящего на нескомпенсированные связи внутри окисного слоя. Это приведет к дальнейшему увеличению сопротивления образца за счет восстановления химической связи. При последующих измерениях сопротивление стабилизируется и на графике наблюдается участок насыщения, как частоты, так и амплитуды эталонного образца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что, используя метод ЭПР, можно косвенным образом, при отсутствии сигнала ЭПР в исследуемом образце кремния, установить степень стабильности любой модифицированной структуры до и после воздействия на нее внешних факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Воронкова В.И., Батурина А.В., Воронков В.В., Головина В.Н., Гуляева А.С., Тюрина М.Г., Мильвидский Н.Б. Влияние отжига на электрические свойства легированных азотом монокристаллов кремния, выращенных методом безстигельной зонной плавки. / Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, № 11.
2. Zinchenko O, Saad A., Drozdov N., et.al. Formation of insulating oxygen-containing layer on a silicon wafer surface using low-temperature hydrogenation // Mater Sci: Mater Electron. – 2008. Vol.19, p. S273 – S276.
3. Diniz J.A., Tatsch P.J., Kretly L.C., et.al. Formation of ultra-thin silicon oxynitride films by low-energy nitrogen implantation // Mat. Res.Soc.Symp.Proc. Vol. 396 – 1996 – С. 249 – 254.
4. Пилипенко В.А. Быстрые термические обработки в технологии СБИС // Минск. БГУ. 2004
5. Лебедев Я.С., Муромцев В.И. ЭПР и релаксация стабилизированных радикалов. Изд. Химия, М.: 1973. – 256 с.