

10-15-2019

RADIATION AND THERMAL DEFECT FORMATION IN SILICON MIS - STRUCTURES WITH IMPURITIES OF REFRACTORY ELEMENTS

Khojakbar Sultanovich Daliev

National research University "MEI" in Tashkent, dalievkhs@yandex.ru

Shahrukh Khozhakbarovich Daliev

Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics at NUUz, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: jonibek.uzmu@mail.ru, shakhrukhd@mail.ru

Anifa Daryabayevna Paluanova

Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics at NUUz, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: jonibek.uzmu@mail.ru, anifa_84@mail.ru

Zafarjon Murodovich Husanov

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, zafarjon.xusanov.85@gmail.com

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors>

Recommended Citation

Daliev, Khojakbar Sultanovich; Daliev, Shahrukh Khozhakbarovich; Paluanova, Anifa Daryabayevna; and Husanov, Zafarjon Murodovich (2019) "RADIATION AND THERMAL DEFECT FORMATION IN SILICON MIS - STRUCTURES WITH IMPURITIES OF REFRACTORY ELEMENTS," *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*: Vol. 1 : Iss. 5 , Article 9.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors/vol1/iss5/9>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

RADIATION SEMICONDUCTOR PHYSICS

УДК 621.315.592

РАДИАЦИОННОЕ И ТЕРМИЧЕСКОЕ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ
В КРЕМНИЕВЫХ МДП-СТРУКТУРАХ С ПРИМЕСЯМИ ТУГОПЛАВКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ

Далиев Хожакбар Султанович, д.ф.-м.н. (DSc), профессор, исполнительный директор филиала НИУ «МЭИ» в городе Ташкенте, e-mail: dalievkhs@yandex.ru.

Далиев Шахрух Хожакбарович, доктор философии (PhD), ведущий научный сотрудник НИИ физики полупроводников и микроэлектроники НУУз, e-mail: shakhrukhd@mail.ru

Палуанова Анифа Дарьябаевна, базовый докторант НИИ физики полупроводников и микроэлектроники НУУз, e-mail: anifa_84@mail.ru

Хусанов Зафаржон Муродович, базовый докторант Национального университета Узбекистана, Ташкент, Узбекистан, e-mail: zafarjon.xusanov.85@gmail.com

Аннотация. Исследовано влияние изохронного отжига на параметры МДП-структур с примесями вольфрама и молибдена, облученных γ -квантами ^{60}Co . Показано, что присутствие в кремниевой подложке МДП-структур примесей тугоплавких элементов - вольфрама или молибдена приводит к стабилизации всех параметров исследуемых структур $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}\langle W \rangle$ и $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}\langle \text{Mo} \rangle$ при различных термообработках при температурах $T_{\text{отж}} = 70 \div 400^\circ\text{C}$ и облучении. Установлено, что предварительный отжиг МДП-структур с примесями W и Mo при 350°C в течение 30 минут в атмосфере азота, проведенный в целях снижения плотности поверхностных состояний, уменьшает концентрацию радиационных дефектов, вводимых облучением.

Ключевые слова: МДП-структура, термообработка, облучение, кремний, легирование, тугоплавкий элемент, примесь, вольфрам, молибден

RADIATION AND THERMAL DEFECT FORMATION IN SILICON
MIS - STRUCTURES WITH IMPURITIES OF REFRACTORY ELEMENTS

Daliev Khojakbar Sultanovich, DSc, Professor, Executive Director branch of National research University "MEI" in Tashkent, e-mail: dalievkhs@yandex.ru.

Daliev Shahrukh Khozhakbarovich, PhD, leading researcher of Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz, e-mail: shakhrukhd@mail.ru

Paluanova Anifa Daryabayevna, basic doctoral student of Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics of NUUz, e-mail: anifa_84@mail.ru

Husanov Zafarjon Murodovich, basic doctoral student of the National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, e-mail: zafarjon.xusanov.85@gmail.com

Annotation. *The effect of isochronous annealing on the parameters of MIS- structures with impurities of tungsten and molybdenum irradiated with ^{60}Co γ -quanta was studied. It is shown that the presence of impurities of refractory elements - tungsten or molybdenum - in the silicon substrate of MIS - structures leads to stabilization of all parameters of the studied structures $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}\langle\text{W}\rangle$ and $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}\langle\text{Mo}\rangle$ under various heat treatments at temperatures $T_{\text{otj}} = 70\div 400^\circ\text{C}$ and irradiation. It was found that pre-annealing of MIS - structures with W and Mo impurities at 350°C for 30 minutes in a nitrogen atmosphere, carried out in order to reduce the density of surface States, reduces the concentration radiation defects introduced by irradiation.*

Keywords: *MIS - structure, heat treatment, irradiation, silicon, alloying, refractory element, impurity, tungsten, molybdenum.*

1. Введение

Исследование влияния различных внешних факторов (температуры, электрического поля, радиации и легирования различными примесями) на физические явления, происходящие в кремниевых многослойных структурах типа металл–диэлектрик–полупроводник является одной из актуальных задач современной микро и нанoeлектроники [1-3]. Изучение процессов образования дефектов и изменения электрических свойств системы Si-SiO₂ при внешних воздействиях вызывает интерес широкого круга исследователей [4-5].

Этот интерес обусловлен, во-первых, выяснением механизма образования электрически активных дефектов в объеме полупроводника, в диэлектрике и на границе раздела Si-SiO₂. Во-вторых, выяснением возможностей и пределов применения таких воздействий в технологии полупроводниковых приборов. Несмотря на то, что имеются довольно полные экспериментальные данные по влиянию облучения, температуры и других воздействий на функционирование МДП-приборов [6-8], остается еще много неясного в физической интерпретации процессов дефектообразования в системе Si-SiO₂. Известно, что количество и параметры радиационных повреждений в МДП-структурах сильно зависят от вида и условий облучения, от структурного совершенства и примесного состава материалов, используемых в качестве подложки структур [9-10].

Цель данной работы - исследование влияния термообработки на свойства облученных кремниевых МДП-структур с примесями тугоплавких элементов - вольфрама и молибдена.

2. Методика эксперимента

Для измерений были использованы МДП-структуры на подложках n-Si, n-Si \langle W \rangle и n-Si \langle Mo \rangle с ориентацией (100) и с исходным $\rho=15$ Ом·см. Слой окисла толщиной $d_{\text{ox}} = 650$ Å выращивался термическим способом при 900°C в атмосфере влажного кислорода с добавлением трихлорэтилена. Металлические электроды на SiO₂ площадью $S = 0.03$ см² и толщиной 7000 Å, создавались напылением Al. Облучение структур Al-SiO₂-Si \langle W \rangle и Al-SiO₂-Si \langle Mo \rangle производилось потоком γ -квантов с интенсивностью $3.4 \cdot 10^{12}$ см⁻²с⁻¹ при

комнатной температуре и со смещением на Al - электроде $V_{см} = +10$ или $V_{см} = -10$ В. Дозы облучения составляли $D = 6 \cdot 10^{14} \div 6 \cdot 10^{15}$ квант/см². Концентрация ГУ (N_t) в объеме кремниевой подложки измерялась методом DLTS на барьерах Шоттки, изготовленных на пластинах n-Si, n-Si<W> и n-Si<Mo> после стравливания слоя SiO₂. Было обнаружено, что при максимальной дозе облучения концентрация ГУ не превышает 10^{12} см⁻³ и они не влияют на измерения на границе раздела Si-SiO₂.

До облучения МДП-структуры имели $N_{SS} (0.44 \text{ эВ}) \approx 4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$ и $V_{mg} - 1,4$ В. Предварительный отжиг МДП-структур при 350°C в течение 30 минут в атмосфере азота, проведенный в целях снижения плотности ПС, уменьшает концентрацию и РД, вводимых облучением. Так, Q_f на 70 % , а N_{SS} на 50 % меньше аналогичных величин в образцах, облученных без предварительного отжига. Изохронный отжиг структур после облучения производился при температурах $T_{отж} = 70 \div 400^\circ\text{C}$ с выдержкой при каждой температуре 30 минут в атмосфере азота.

3. Результаты и их обсуждение

Для определения плотности объемных состояний N_{ti} , которые перезаряжаются путем туннельного перехода электронов из объемных состояний диэлектрика в зону проводимости Si, измерялось ΔU при $T=250\text{K}$ и $E_{FS} = 0.20$ эВ. При этих условиях поверхностные состояния практически не участвуют в образовании сигнала релаксации напряжения. ВФХ измерялись при $T=290\text{K}$ и частоте 100 кГц. Эффективная плотность заряда в окисле N_q определяется из напряжения V_{mg} , при котором в стационарном состоянии E_{FS} находится в центре запрещенной зоны кремния:

$$N_q = V_{MG} \cdot C_{ox} / A \cdot q$$

где C_{ox} - емкость окисла МДП-структуры и q -заряд электрона.

Анализ полученных результатов показал, что величина N_q возвращается к исходному значению при $T_{отж}=250^\circ\text{C}$. Кинетика изохронного отжига не зависит от полярности напряжения $V_{см}$ при облучении структуры. Это указывает на одинаковую природу встроенного заряда, связанного, по-видимому, с ионизованным донорным состоянием свободной связи на кремнии в SiO₂. Величина \bar{N}_{SS} , определенная из ВФХ при $E_{FS} = 0.42$ эВ, восстанавливается только при $T_{отж} = 350^\circ\text{C}$. Анализ результатов показал, что присутствие в кремниевой подложке МДП- структур примесей тугоплавких элементов - вольфрама или молибдена приводит к стабилизации параметров исследуемых структур Al-SiO₂-Si<W> и Al-SiO₂-Si<Mo>.

Зависимость плотности ПС N_{SS} , определенной из спектров СС-DLTS от температуры изохронного отжига $T_{отж}$. (рис.1, кривые 2,3) качественно ведет себя также как $\bar{N}_{SS}(T_{отж}) -$

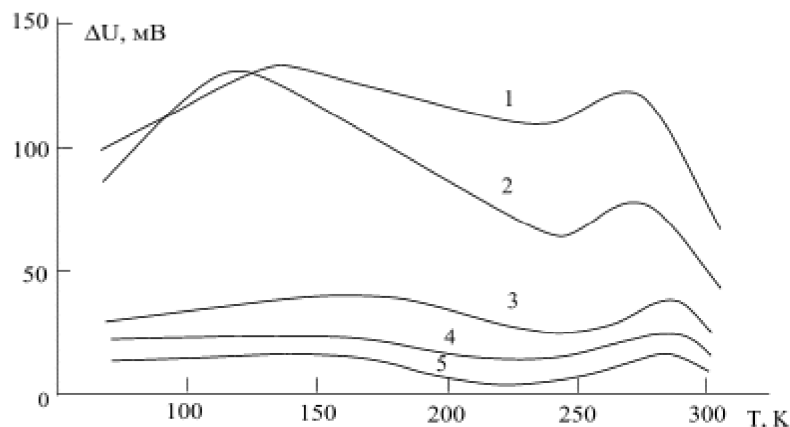


Рис.1. Спектры CC-DLTS МДП-структуры, облученной при $V_{см} = +10$ В после отжига при различных температурах $T_{отж}$ °С: 1 – 25, 2 – 80, 3 – 180, 4 – 200, 5 – 250.

полный отжиг РД до исходного состояния происходит при 350°C, но всегда $N_{SS} < \bar{N}_{SS}$. Более мелкие ПС с $E_t = 0.24$ эВ (рис.1, кривые 5,6) и $E_t = 0.09$ эВ (кривые 8,9) менее термостабильны и полностью отжигаются при $T_{отж} = 300$ °С.

При наличии радиационных повреждений МДП-структуры сигнал релаксации ΔU при $T < 150$ К имеет некоторые особенности (рис.2, кривые 1,2, рис.2, кривые 8,9). Область резкого спада с понижением T сдвигается с энергией активации $E_t = 0.1$ эВ к более высоким температурам при уменьшении t_1 и t_2 .

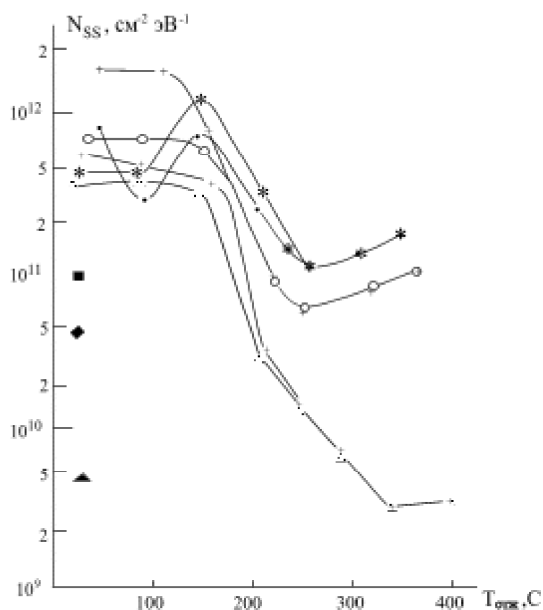


Рис.2. Зависимости плотности ПС N_{SS} , определенной из спектров CC-DLTS от температуры изохронного отжига $T_{отж}$.
1,4,7- до облучения, 2,3,5,6,8,9- после облучения при $V_{см}$, В:
2,5,8 – -10 В, 3, 6,9 – +10В, $T(E_t)$, К (эВ): 1,2,3-250 (0.44);
4,5,6 -150 (0.24); 7,8,9- 80 (0.09)

Иногда результирующий сигнал при $T=80$ К может стать отрицательным. Отрицательная релаксация ΔU может быть связана с процессами перезарядки при инжекции электронов из металлического электрода в окисел или с переносом заряда внутри окисла. Малая энергия активации отрицательной составляющей в ΔU позволяет предположить, что более вероятным механизмом переноса электронов внутри окисла является прыжковая проводимость по радиационным ОС.

4. Заключение

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что присутствие в кремниевой подложке МДП- структур примесей тугоплавких элементов - вольфрама или молибдена приводит к стабилизации параметров исследуемых структур $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}\langle\text{W}\rangle$ и $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}\langle\text{Mo}\rangle$ при различных термообработках и облучении. Полученные результаты также свидетельствуют о том, что зависимости $N_{\text{SS}}(T_{\text{отж.}})$, вычисленные из измерений СС-DLTS, немонотонны, поскольку отрицательные и положительные перезарядки частично компенсируют друг друга.

Литература

1. Литовченко В.Г., Горбань А.П. Основы физики микроэлектронных систем металл-диэлектрик-полупроводник. Киев, Наукова думка. 1978, 316 с.
2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника. М.: Техносфера, 2005. 406 с.
3. Красников Г.Я., Зайцев Н.А. Система кремний - диоксид кремния субмикронных СБИС - М.: Техносфера, 2003. - С. 384.
4. Antonova I.V., Stano J., Naumova O.V., Skuratov V.A., and Popov V.P. DLTS study of silicon-on-insulator structures irradiated with electrons or high energy ions. IEEE Trans. Nucl.Science, 2004, v.51, n.3, pp.1257-1261.
5. Vanheusden K., Devine R.A.B., The role of interface states in hydrogen-annealing-induced mobile proton generation at the Si-SiO₂ interface, Appl. Phys. Lett. 2000, v.76, pp.3109-3111.
6. Далиев Ш.Х., Палуанова А.Д. Влияние γ -облучения на свойства уровней вольфрама в кремнии. Science and world, International scientific journal, № 10 (62), 2018, Vol. I, pp.28-31.
7. Reinink J., Zameshin A. and Bijkerk F. In-situ studies of silicide formation during growth of molybdenum-silicon interfaces. Journal of Applied Physics, 126, (2019), pp. 135-141.
8. Далиев Ш.Х. Инфракрасная спектроскопия кремния, легированного молибденом. Science and world, International scientific journal, (№ 6 (58), 2018, Vol. I, pp. 11-13.
9. Litovchenko V.G., Lisovkiy I.P., Kladko V.P. Influence of defects Zr on the structure of oxygen precipitates in silicon crystals. Ukr. J. Phys. - 2007. - V.52, N 10. - pp. 958- 966.
10. Daliev Sh.Kh. The formation of defects in MIS structures based on silicon with molybdenum impurity. European science review, № 7-8, 2019, pp.74-77.

Reference

1. Litovchenko V.G., Gorban' A.P. *Osnovy fiziki mikroelektronnykh sistem metall-dielektrik-poluprovodnik* [Fundamentals of physics of microelectronic systems metal-dielectric-semiconductor], Kiev, Publ. Naukova dumka. 1978, p. 316. (In Russ.)

2. Gurtov V.A. *Tverdotel'naya elektronika*[Solid State Electronics]. Moscow, Publ. Tekhnosfera, 2005, p. 406. (In Russ.)
 3. Krasnikov G.Ya., Zaitsev N.A. *Sistema kremnii - dioksid kremniya submikronnykh SBIS* [The system silicon - silicon dioxide of submicron VLSI], Moscow, Publ. Tekhnosfera, 2003, p. 384. (In Russ.)
 4. Antonova I.V., Stano J., Naumova O.V., Skuratov V.A., and Popov V.P. DLTS study of silicon-on-insulator structures irradiated with electrons or high energy ions. IEEE Trans. Nucl.Science, 2004, v.51, n.3, pp.1257-1261.
 5. Vanheusden K., Devine R.A.B., The role of interface states in hydrogen-annealing-induced mobile proton generation at the Si-SiO₂ interface, Appl. Phys. Lett. 2000, v.76, pp.3109-3111.
 6. Daliev Sh.Kh., Paluanova A.D. *Vliyaniye γ -oblucheniya na svoystva urovnei vol'frama v kremnii* [Influence of γ -irradiation on the properties of tungsten levels in silicon]. Science and world, International scientific journal, № 10 (62), 2018, Vol. I, pp.28-31. (In Russ.)
 7. Reinink J., Zameshin A. and Bijkerk F. In-situ studies of silicide formation during growth of molybdenum-silicon interfaces. Journal of Applied Physics, 126, (2019), pp. 135-141.
 8. Daliev Sh.Kh. *Infrakrasnaya spektroskopiya kremniya, legirovannogo molibdenom* [Infrared spectroscopy of molybdenum-doped silicon]. Science and world, International scientific journal, no. 6 (58), 2018, Vol. I, pp. 11-13. (In Russ.)
 9. Litovchenko V.G., Lisovkiy I.P., Kladko V.P. Influence of defects Zr on the structure of oxygen precipitates in silicon crystals. Ukr. J. Phys. 2007. V.52, N 10. pp. 958- 966.
 10. Daliev Sh.Kh. The formation of defects in MIS structures based on silicon with molybdenum impurity. European science review, no. 7-8, 2019, pp.74-77.
-