

10-15-2019

INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE TREATMENTS ON THE BEHAVIOR OF DEEP LEVELS IN SILICON DOPED WITH PLATINUM

Sharifa Bekmuradovna Utamuradova

Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz, Tashkent, Uzbekistan., sh-utamuradova@yandex.ru

Zafarbek Olimbek ugli Olimbekov

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

Jonibek Jumayevich Khamdamov

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

Kakhramon Makhmudjanovich Fayzullaev

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

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

Recommended Citation

Utamuradova, Sharifa Bekmuradovna; Olimbekov, Zafarbek Olimbek ugli; Khamdamov, Jonibek Jumayevich; and Fayzullaev, Kakhramon Makhmudjanovich (2019) "INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE TREATMENTS ON THE BEHAVIOR OF DEEP LEVELS IN SILICON DOPED WITH PLATINUM," *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*: Vol. 1 : Iss. 5 , Article 3.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors/vol1/iss5/3>

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.

УДК 621.315.592

**ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБРАБОТОК НА ПОВЕДЕНИЕ
ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ В КРЕМНИИ ЛЕГИРОВАННОМ ПЛАТИНОЙ**

Утамурадова Шарифа Бекмурадовна*, д.ф.-м.н. (DSc), профессор, директор НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз. e-mail: sh-utamuradova@yandex.ru

Олимбеков Зафарбек Олимбек угли, научный сотрудник НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: zolimbekov@mail.ru

Хамдамов Жонибек Жумаевич, доктор философии (PhD), заведующий лабораторией, НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: jonibek.uzmu@mail.ru

Файзуллаев Кахрамон Махмуджанович, базовый докторант НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: qahramon_fayz@mail.ru

***Аннотация.** Методом емкостной спектроскопии исследована кинетика отжига глубоких уровней в кремнии с примесью платины при низких температурах. Показано, что изотермический отжиг глубоких уровней в Si<Pt> начинается при 350°C и приводит к резкому уменьшению концентрации уровней Pt, при этом по мере отжига концентрация уровня $E_c-0.21$ эВ, обусловленного дефектами термообработки, увеличивается. Установлено, что кинетика отжига уровней зависит и от содержания кислорода в кремнии.*

***Ключевые слова:** кремний, диффузия, платина, глубокий уровень, концентрация, спектр DLTS, кинетика отжига*

**INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE TREATMENTS ON THE BEHAVIOR OF
DEEP LEVELS IN SILICON DOPED WITH PLATINUM**

Utamuradova Sharifa Bekmuradovna*, Dr. of Phys.-Math. Sc., Professor, Director of Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: sh-utamuradova@yandex.ru

Olimbekov Zafarbek Olimbek ugli, research scientist of the Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz., Tashkent, Uzbekistan. e-mail: zolimbekov@mail.ru

Khamdamov Jonibek Jumayevich, doctor of philosophy (PhD), head of the laboratory, Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics at NUUz, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: jonibek.uzmu@mail.ru

Fayzullaev Kakhramon Makhmudjanovich, Basic Doctoral Student of the Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at NUUz., Tashkent, Uzbekistan. e-mail: qahramon_fayz@mail.ru

***Abstract.** The kinetics of deep-level annealing in silicon with an admixture of platinum at low temperatures was studied using capacitive spectroscopy. It is shown that isothermal annealing of deep levels in Si<Pt> begins at 350oC and leads to a sharp decrease in the concentration of Pt levels, while as annealing progresses, the concentration of the $E_C-0.21$ eV level due to heat treatment defects increases. It was found that the kinetics of annealing levels also depends on the oxygen content in silicon.*

Keywords: silicon, diffusion, platinum, deep level, concentration, DLTS spectrum, annealing kinetics

1. Введение

Свойства кремния, легированного платиной, были исследованы рядом авторов [1-3] различными методами и показано, что Pt образует в Si эффективные рекомбинационные центры и может быть использована для оптимизации времени жизни неравновесных носителей тока в полупроводниковых приборах различного назначения [4]. Авторами [5] было показано, что Si, компенсированный Pt, обладает высокой фоточувствительностью в примесной области спектра. В работе [6] из емкостных измерений нами было обнаружено, что при легировании Si платиной наблюдается образование в n-Si двух глубоких уровней (ГУ) с фиксированными энергиями ионизации: $E_c-0.21$ эВ и $E_c-0.25$ эВ, а в p-Si - двух уровней $E_v+0.20$ эВ и $E_v+0.41$ эВ. Было установлено, что с атомами Pt в Si связаны только уровни $E_c-0.25$ эВ и $E_v+0.20$ эВ, поскольку ГУ $E_c-0.21$ эВ и $E_v+0.41$ эВ наблюдаются и в контрольных образцах, причем, концентрация уровня $E_c-0.21$ эВ на порядок выше, чем в образцах, легированных Pt, а концентрация уровня $E_v+0.41$ эВ зависит от степени очистки поверхности образцов перед диффузией платины.

Авторами [7-8] было показано, что технологический маршрут создания полупроводниковых приборов включает различные циклы низко- и высоко-температурных обработок, приводящих к изменению электрофизических свойств легированных материалов. Все это стимулирует продолжение исследований поведения уровней Pt в Si.

2. Методика эксперимента

В связи с этим цель данной работы - исследование влияния термических обработок в интервале температур $100\div 500^\circ\text{C}$ на поведение ГУ в Si, легированном Pt. Исходными образцами служили пластины кремния n- и p-типа проводимости с удельным сопротивлением ρ , равным $5\div 65$ Ом·см. В качестве контрольных использовались образцы n- и p-Si, термообработанные при тех же технологических условиях, что и диффузия Pt в кремний. Технологические режимы легирования Si примесью Pt были описаны нами ранее в работе [6]. Измерения параметров образцов Si<Pt> после диффузии и каждого этапа изотермического отжига проводились с помощью нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS). Методика измерения и обработки спектров DLTS также детально описана нами ранее в [9].

Измерения спектров DLTS образцов n-Si<Pt> и p-Si<Pt> (рис.1, черные линии) показали, что энергетический спектр ГУ, соответствует параметрам уровней, обнаруженных нами ранее в работе [9]: в n-Si ГУ $E_c-0.21$ эВ (пик А) и $E_c-0.25$ эВ (пик В), а в p-Si - двух уровней $E_v+0.20$ эВ (пик С) и $E_v+0.41$ эВ (пик D).

Исследуемые образцы n-Si<Pt> и p-Si<Pt> перед изотермическим отжигом при температурах $100\div 500^\circ\text{C}$ подвергалась циклу тщательной кис-лотно-перекисной отмывки.

Низкотемпературный отжиг (НТО) проводился в кварцевых лодочках в открытой ампуле на воздухе с последующим быстрым охлаждением в воде. До и после каждого цикла отжига определялись концентрации и параметры каждого ГУ в образцах n-Si<Pt> и p-Si<Pt> в отдельности.

3. Результаты и их обсуждение

На рис.1 приведены спектры DLTS образцов n-Si<Pt> (пики А и В), p-Si<Pt> (пики С и D) и контрольных образцов Si (пик А) до и после НТО при 350°C. Анализ полученных результатов (кривые 1- до НТО, 2, 3,4 - после НТО при 350°C, при разных длительностях отжига) показывает, что НТО приводит к изменению концентрации всех четырех ГУ. Отметим, что концентрации уровней, связанных с атомами платины в кремнии $E_c-0.25$ эВ (пик В) и $E_v+0.20$ эВ (пик С) в образцах Si<Pt> по мере отжига заметно снижаются, а концентрация ГУ $E_v+0.41$ эВ (пик D), связанного с неконтролируемой примесью Fe, резко падает.

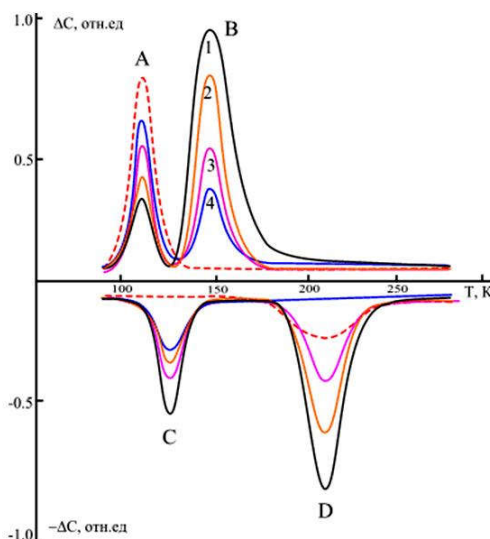


Рис.1. Типичные спектры DLTS образцов n-Si<Pt> (пики А и В), p-Si<Pt> (пики С и D) и контрольного Si (пунктирная кривая), подвергнутых НТО при 350°C.

На рис.2 (кривые А, В, С и D) приведена кинетика изотермического отжига образцов n-Si<Pt>, подвергнутых НТО при 350°C с последующей резкой закалкой.

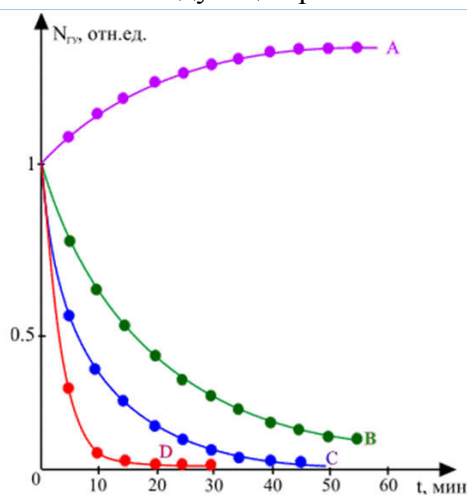


Рис.2. Кинетика изотермического отжига глубоких уровней в образцах n-Si<Pt> (1), p-Si<Pt> (2) и контрольного Si (кривая 3), НТО при 350°C

Анализ полученных результатов показывает, что ход кинетических кривых совпадает с характером изменений спектров DLTS образцов Si<Pt>.

Отметим, что для экспериментов использовались образцы Si с разным содержанием кислорода. Концентрация оптически активного междоузельного кислорода $N_{O^{opt}}$ определенная из дополнительных исследований с помощью инфракрасной спектроскопии (SPECORD-IR-75), варьировалась в пределах $2 \cdot 10^{16} \div 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Сравнение кинетики отжига ГУ в Si<Pt> с разным $N_{O^{opt}}$ показало, что отжиг в образцах с низкой концентрацией кислорода ($N_{O^{opt}} \sim 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) происходит в 3-4 раза быстрее, чем в образцах с высоким содержанием кислорода ($N_{O^{opt}} \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$).

4. Заключение

Таким образом, из анализа полученных результатов следует, что низкотемпературная изотермическая обработка образцов Si<Pt> приводит к отжигу уровней, обусловленных диффузионным введением атомов платины в кремний. При этом, синхронно с уменьшением концентрации уровней Pt увеличивается концентрация ГУ $E_c-0.21 \text{ эВ}$, обусловленного дефектами термообработки.

Литература

1. Физика и материаловедение полупроводников с глубокими уровнями. Под ред. Фистуля В.И. М., 1987, 232 с
2. Лебедев А. А., Соболев Н. А., Урунбаев Б. М. Исследование параметров уровней платины в p-Si. — ФТП, 1981, т. 15, в. 8, с. 1519-1522.
3. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Пер. с англ., М., Мир, 1984, 471 с.
4. Лебедев А. А., Султанов Н. А. Влияние ориентированной деформации и у-облучения на уровни платины в кремнии ФТП, 1988, т. 22, в.1, с. 16-19.
5. Ахмедова М. М., Лебедев А. А., Махкамов Ш. Исследование фотоемкости диодов из Si<Pt>. ФТП, 1975, т. 9, в. 7, с. 1305-1307.
6. Утамурадова Ш.Б., Олимбеков З.О. Исследование особенностей образования глубоких центров в кремнии с примесью платины. Science and World, International scientific journal, № 11 (63), 2018, Vol. I, p. 10-12.
7. Батаев А.А., Тушинский Л.И., Которов С.А. Физические методы контроля качества материалов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000, С. 102.
8. Герасименко Н.Н. Кремний - материал нанoeлектроники / Н.Н. Герасименко, Ю.Н. Пархоменко. М.: Техносфера, 2007, С.351.
9. Утамурадова Ш.Б. Процессы формирования и развития дефектных центров в кремнии, легированном примесями Т-ионов. Докт.дисс., Ташкент, 2017, 210 с.

References

1. *Fizika i materialovedenie poluprovodnikov s glubokimi urovnyami.* [Physics and materials science of semiconductors with deep levels.] Fistul V.I. M., 1987, 232 p. (In Russ.)

2. Lebedev A. A., Sobolev H. A., Urunbaev B. M. *Issledovanie parametrov urovnei platiny v p-Si*. [Study of the parameters of the levels of plate in p-Si]. Semiconductors, 1981, v. 15, n. 8, pp. 1519-1522. (In Russ.)
 3. Reivi K. *Defekty i primesi v poluprovodnikovom kremnii*. [Defects and impurities in semiconductor silicon] trans. from ang. Moscow, publ. Mir, 1984, 471 p. (In Russ.)
 4. Lebedev A. A., Sultanov H. A. *Vliyanie orientirovannoy deformatsii i γ -oblucheniya na urovni platiny v kremnii* [Influence of oriented deformation and γ -irradiation on platinum levels in silicon] Semiconductors, 1988, v. 22, n.1, pp. 16-19. (In Russ.)
 5. Ahmedova M. M., Lebedev A. A., Makhkamov Sh. *Issledovanie fotoemkosti diodov iz Si<Pt>*. [Investigation of the photocapacitance of Si <Pt> diodes] Semiconductors, 1975, v. 9, n. 7, pp. 1305-1307. (In Russ.)
 6. Utamuradova Sh.B., Olimbekov Z.O. *Issledovanie osobennosti obrazovaniya glubokikh tsentrov v kremnii s primes'yu platiny* [Investigation of the features of the formation of deep centers in silicon with an admixture of platinum.]. Science and World, International scientific journal, № 11 (63), 2018, Vol. I, pp. 10-12. (In Russ.)
 7. Bataev A.A., Tushinskii L.I., Kotorov S.A. *Fizicheskie metody kontrolya kachestva materialov*. [Physical methods of quality control of materials.], Novosibirsk, publ. NGTU, 2000, p. 102.
 8. Gerasimenko N.N. *Kremnii - material nanoelektroniki* [Silicon - a material of nanoelectronics], N.N. Gerasimenko, Ju.N. Parhomenko. Moscow, publ. Tehnosfera, 2007, p. 351. (In Russ.)
 9. Utamuradova Sh.B. *Protsessy formirovaniya i razvitiya defektnykh tsentrov v kremnii, legirovannom primesyami T-ionov* [The processes of formation and development of defect centers in silicon doped with T-ion impurities] Dokt. diss., Tashkent, 2017, 210 p. (In Russ.)
-