

ГЛУБОКИЕ УРОВНИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ КРЕМНИЯ p-ТИПА ПОСЛЕ ДИФфуЗИИ ЗОЛОТА

Капустин Ю. А., Колокольников Б. М.

К настоящему времени известно достаточно большое количество работ по влиянию различного рода воздействий и разупорядоченностей на свойства дефектов с глубокими уровнями (ГУ) в полупроводниках и, в частности, примеси золота в кремнии (см., например, [1-13]; приведенный список литературы включает в себя работ по низкотемпературному распаду твердого раствора в кремнии и большинство работ, связанных с геттерированием примеси золота). В [14] Лемке сообщается об обнаружении и исследовании ГУ, обусловленных

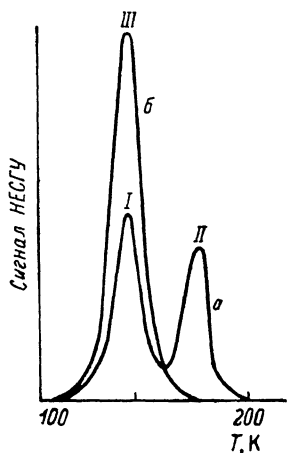


Рис. 1. Спектры НЕСГУ в кремнии p-типа, диффузионно легированном золотом.

a — непосредственно после диффузии, б — после диффузии и отжига при 700 К.

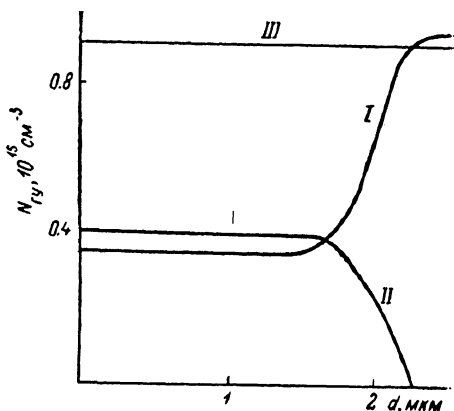


Рис. 2. Профили концентрации центров с ГУ в кремнии p-типа, диффузионно легированном золотом.

I — Au⁺ непосредственно после диффузии, II — с ГУ $E_g + 0.5$ эВ; III — Au⁺ после диффузии и отжига при 700 К.

примесью золота вблизи поверхности кремния, которую принято считать наибольшей разупорядоченностью. Им установлено, что при низких уровнях легирования ($\sim 10^{23}$ см⁻³) бестигельного кремния золотом в его приповерхностной области образуются комплексы, включающие атомы золота с ГУ, не наблюдавшимися в объеме материала. Необходимо отметить, что наблюдаемые Лемке ГУ не возникли и при условиях, описанных в [1-13]. Эти уровни отжигались при относительно низких температурах, а концентрация ГУ, ответственных за основное (объемное) электрически активное состояние с энергией термоионизации $E_g + 0.35$ эВ, при этом увеличивалась. Однако природа обнаруженных Лемке [13] уровней осталась невыясненной. Кроме того, в [13] не приводятся данные о профиле концентрации исследуемых ГУ и о возникновении их при более высоких концентрациях золота. Эти вопросы представляют, на наш взгляд, как научный, так и практический интерес и поэтому явились задачей настоящей работы.

Для исследований использовались монокристаллы кремния, выращенного по методу Чохральского и легированного в процессе роста бором. Удельное сопротивление исходных образцов составляло 2 Ом·см. Перед проведением диффузии поверхность образцов механически и химически полировалась на глубину до 200 мкм.

Диффузия золота осуществлялась из термически напыленного на поверхность образцов слоя Au толщиной ≈ 40 нм в течение 5 ч при температуре 1300 К.

После диффузии образцы закаливались на воздухе. Непрореагировавшее золото удалялось в «царской водке». Исследования проводились методом нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (НЕСГУ) в полупроводниках. Создание барьеров Шоттки при этом производилось без дополнительной термообработки.

На рис. 1 приведены типичные спектры НЕСГУ, полученные при напряжении смещения 5 В, длительности импульса заполнения ГУ носителями заряда 100 мкс и временах выборки $t_1=9$ и $t_2=90$ мс. Из рисунка следует (кривая а), что после диффузии в приповерхностной области образцов наблюдаются два ГУ с энергиями термоионизации ($E_p+0.35$) (максимум I) и ($E_p+0.5$) эВ (максимум II) и сечениями захвата носителей заряда $\sigma_p \geq 10^{-15}$ и $\sigma_p=2 \cdot 10^{-16}$ см² соответственно. Максимум I (MI) по своим параметрам соответствует ГУ центров Au⁺ в объеме материала (см., например, [15]), а MII — параметрам ГУ, наблюдаемого Лемке [14] при низких уровнях легирования золотом ($\sim 10^{13}$ см⁻³). Возможное происхождение этого уровня Лемке связывал с комплексом, включающим атомы примесей золота и железа. Отжиг при 700 К в течение 30 мин приводил к исчезновению MII и возрастанию MI до MIII (кривая б). На рис. 2 приведены профили концентрации исследуемых ГУ. Как следует из рисунка, суммарная концентрация центров Au⁺ и концентрация ГУ, ответственных за MII в образцах, не прошедших низкотемпературный отжиг, была практически равна концентрации центров Au⁺ в образцах после отжига, которая не изменялась с увеличением глубины залегания уровней. Эти данные позволяют считать, что дефекты, ответственные за MII в спектрах НЕСГУ, являются комплексами, включающими атомы золота. Участия же атомов железа в этих комплексах, как на это указывал Лемке [14], на наш взгляд, не происходит. Об этом свидетельствует отсутствие заметной концентрации ГУ, связанных с железом [15] или его комплексами, в том числе с известным комплексом [FeAu]⁺ [16].

Список литературы

- [1] Seidel T. E., Meek R. L., Cullis A. G. // J. Appl. Phys. 1975. V. 46. N 2. P. 600—609.
- [2] Берман Л. С., Шуман В. Б. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 12. С. 2389—2390.
- [3] Tseng W. F., Koji T., Mayer J. W., Seidel T. E. // Appl. Phys. Lett. 1978. V. 33. N 5. P. 442—444.
- [4] Дидик В. А., Малкович Р. Ш., Савин Э. П. // ФТТ. 1979. Т. 21. В. 8. С. 2475—2497.
- [5] Дорин В. А., Погарский М. А. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 8. С. 1564—1568.
- [6] Вахабов Д. А., Закиров А. С., Игамбердыев Х. Т., Кузубаев Х., Мамадалимов А. Т., Махкамов Ш., Хабибуллаев П. К. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 4. С. 747—749.
- [7] Капустин Ю. А., Колокольников Б. М., Кузьмин Е. А., Минеев В. В., Постников В. С. // Электрон. техн. Сер. 3. Микроэлектроника. 1986. № 2 (118). С. 127—128.
- [8] Кавешников С. В., Редькин С. В., Старков В. В., Юнкин В. А., Якимов Е. Б., Яркин Н. А. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1987. № 11. С. 85—89.
- [9] Антонова И. В., Васильев А. В., Панов В. И., Шаймеев С. С. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 2. С. 253—256.
- [10] Капустин Ю. А., Колокольников Б. М., Свешников А. А. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 2. С. 318—322.
- [11] Капустин Ю. А., Колокольников Б. М., Котов В. В., Медведков А. В. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 5. С. 838—842.
- [12] Bronner G. B., Plummer J. D. // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. N 12. P. 5286—5298.
- [13] Samara G. A., Barnes C. E. // Phys. Rev. B. 1987. V. 35. N 14. P. 7575—7584.
- [14] Lemke H. // Phys. St. Sol. (a). 1985. V. 92. K141—K143.
- [15] Chen J. W., Milnes G. // Ann. Rev. Mater. Sci. 1980. V. 10. P. 157—228.
- [16] Braserton S. D., Bradley P., Gill A., Weber E. R. // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. N 4. P. 952—956.