

06;11;12

Регулярный рельеф на поверхности кремния как геттер структурных дефектов

© Л.С. Берман, И.В. Грехов, Л.С. Костина,
Е.И. Белякова, Е.Д. Ким, С.Ч. Ким

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 24 июля 1998 г.

Исследовано влияние регулярного рельефа на поверхности кремния на геттерирование в структурах кремний–двуокись кремния. Регулярный рельеф создавался до окисления методом фотолитографии в виде ортогональной сети перекрещивающихся полос. Геттерирование определялось по изотермической релаксации емкости структуры кремний–двуокись кремния–алюминий после переключения от режима сильной инверсии к еще более сильной инверсии. Показано, что регулярный рельеф на границе раздела кремний–двуокись кремния является эффективным геттером на глубине нескольких сотен микрон.

В полупроводниковой технологии широко используется геттерирование для удаления металлических примесей и/или других структурных дефектов из электрически активной области прибора. Внешнее геттерирование осуществляется путем создания дефектов на обратной стороне пластины, они являются стоками для нежелательных дефектов. Существует ряд способов внешнего геттерирования [1].

В наших предыдущих работах [2,3] было показано, что регулярный рельеф на границе раздела прямосращенных кремниевых структур существенно уменьшает плотность приграничных дислокаций и концентрацию глубоководных центров; это приводит к увеличению времени жизни неосновных носителей заряда более чем на порядок.

В настоящей работе исследовано влияние регулярного рельефа на поверхности кремния на геттерирование в структурах кремний–двуокись кремния. Известно, что на границе раздела кремний–двуокись кремния имеется тонкий дефектный переходный слой, который сам является стоком для глубоководных центров (см., например, [4,5]); поэтому нами сравнивалось геттерирование в структурах кремний–двуокись кремния как с регулярным рельефом, так и без него.

Образцы были изготовлены из n -Si(111)Cz, $\rho = 15\Omega \cdot \text{см}$, толщина пластин $300 \mu\text{м}$. Регулярный рельеф создавался до окисления методом традиционной фотолитографии в виде ортогональной сетки перекрещивающихся полос шириной $50 \mu\text{м}$, глубиной $0.2\text{--}0.3 \mu\text{м}$ и с расстоянием между полосами $200 \mu\text{м}$. Окисление выполнялось в атмосфере сухого и влажного кислорода при 1000°C в следующей последовательности: 10 min сухой $\text{O}_2 + 100 \text{ min}$ влажный $\text{O}_2 + 10 \text{ min}$ сухой O_2 , толщина окисла $0.7 \mu\text{м}$. После окисления пластины охлаждались в печи до 600°C в течение 50 min . На слой SiO_2 наносились алюминиевые контакты диаметром $1\text{--}2 \text{ mm}$ путем напыления в вакууме. С обратной стороны создавался омический контакт к кремнию — силицид ванадия/алюминий.

Были изготовлены 3 группы образцов: 1 группа — без регулярного рельефа, 2 группа — регулярный рельеф создавался с обратной стороны, 3 группа регулярный рельеф создавался на рабочей поверхности.

Методика измерений. Геттерирование глубоководных центров (ГУЦ) определялось по изотермической релаксации емкости после переключения напряжения от режима сильной инверсии к еще более сильной инверсии. Этот метод позволяет обнаружить глубоководные центры как в верхней, так и в нижней половине запрещенной зоны, а также оценить вклад в генерационный ток j_g как поверхности полупроводника, так и области объемного заряда.

При $N_t \ll N_d$ (где N_t , N_d — концентрации глубоководных центров и легирующей примеси соответственно) дообразование инверсионного слоя идет значительно медленнее, чем релаксация заполнения глубоководных центров [6]. Поэтому можно считать, что оба процесса происходят не одновременно, а последовательно. При наличии в области объемного заряда идентичных глубоководных центров, временная зависимость емкости $C(t)$ в ходе дообразования инверсионного слоя описывается выражением [7, приложение 1]:

$$\frac{q\varepsilon N_d C_i}{C^3(t)} \left[\frac{dC(t)}{dt} \right] = j_g = j_{gs} + \frac{qN_t}{\tau_{th}} [h(t) - h_{st}], \quad (1)$$

где q — заряд электрона, ε — диэлектрическая проницаемость полупроводника, C_i — емкость диэлектрика, j_{gs} — генерационный ток на поверхности, τ_{th} — время термоэмиссии, $h(t)$, h_{st} — толщина области объемного заряда и ее стационарное значение соответственно. Второе слагаемое в правой части (1) — генерационный ток в области объемного

заряда j_{gdl} . Значения емкостей и токов даны на единицу площади. В дальнейшем указание на зависимость C и h от t опускаем.

Выражение (1) является обобщением метода Цербста [8] для случая, когда уровень основного генерационного центра расположен не в середине запрещенной зоны. Как показывает теоретический анализ [9], выражение для j_{gdl} справедливо при $h-h_{st} \gg L_D$, где $L_D = \sqrt{\varepsilon\kappa T/q^2 N_d}$ — длина Дебая, κ — постоянная Больцмана, T — температура.

На начальном этапе переходного процесса обычно выполняется неравенство $j_{gdl} \gg j_{gs}$, поэтому значение j_{gs} можно аппроксимировать постоянной составляющей.

Тогда выражение (1) — прямая в координатах $(q\varepsilon N_d C_i / C^3) \times (dC/dt) \div h-h_{st}$; тангенс угла наклона этой прямой равен qN_i / τ_{th} , а прямая отсекает на оси y отрезок, равный j_{gs} .

При наличии профиля концентрации глубокоуровневых центров $N_i(x) = N_{to} \cdot f(x)$ (где N_{to} — значение N_i при начальной толщине области объемного заряда после переключения) в (1) вместо $N_i(h-h_{st})$ выйдет

$$N_{to} \int_{h_{st}}^h f(x) dx,$$

при этом производная (1) по h равна $qN_{to} \cdot f(h)\tau_{th} = qN_i(h)/\tau_{th}$.

Результаты измерений и их обсуждение. Полученные результаты являются усредненными по поверхности МДП-структур, так как диаметр МДП-структур много больше, чем расстояние между полосами. На рис. 1 приведены зависимости $C(t)$ для образцов трех групп после переключения от $V = -50$ В (сильная инверсия) до $V = -70$ В ($T = 253$ К). По этим зависимостям определилось время t_{rel} возрастания емкости от ее начального значения C_0 до значения $C_0 + 0.9(C_{st} - C_0)$ где C_{st} — стационарное значение емкости. Из сравнения этих зависимостей следует, что наименьшее значение t_{rel} (т.е. наибольшая концентрация глубокоуровневых центров) у образцов группы 1 (без регулярного рельефа), а наибольшее t_{rel} у образцов группы 3 с регулярным рельефом на рабочей поверхности. Следовательно, регулярный рельеф является эффективным геттером. При наличии регулярного рельефа на обратной стороне пластины (группа 2) геттерирование осуществляется обоими поверхностями. Из сравнения зависимостей $C(t)$ для групп 1, 2 и 3 следует также, что регулярный рельеф геттерирование по всей толщине пластины ($300 \mu\text{m}$), хотя геттерирование и ослабляется по толщине.

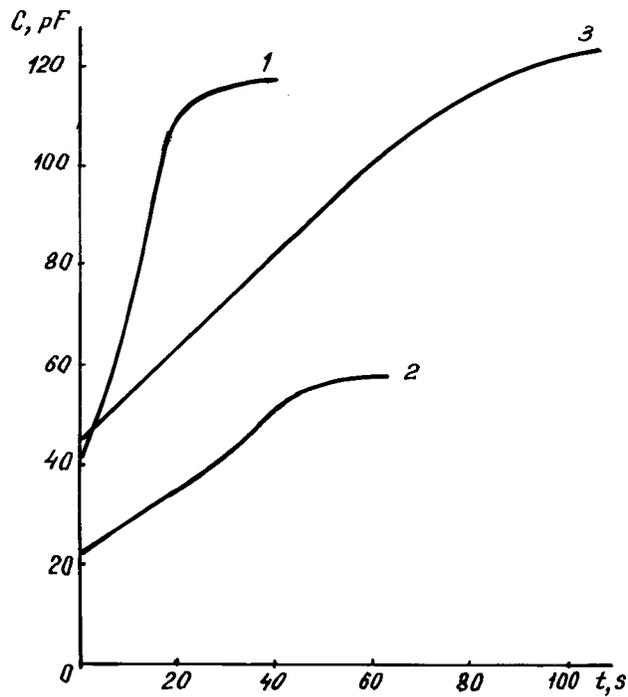


Рис. 1. Временные зависимости емкости $C(t)$ после переключений от -50 до -70 В, $T = 253$ К: 1 — группа 1, $C_0 = 44$ пФ, $C_{st} = 118.3$ пФ, $t_{rel} = 20.5$ с; 2 — группа 2, $C_0 = 24$ пФ, $C_{st} = 59.3$ пФ, $t_{rel} = 47$ с; 3 — группа 3, $C_0 = 46$ пФ, $C_{st} = 125$ пФ, $t_{rel} = 82$ с.

На рис. 2 приведены зависимости генерационного тока $j_g = j_{gs} \div j_{gdl}$ от толщины области объемного заряда для тех же образцов после тех же переключений. Эти зависимости вычислены из (1) по экспериментальной зависимости $C(t)$. Для этих образцов при $T = 253$ К имеем $L_d \approx 0.2 \mu\text{m}$. Следовательно, зависимости j_{gdl} от $h-h_{st}$ справедливы при $h-h_{st} > 1.0-1.5 \mu\text{m}$. Наибольший генерационный ток (и наибольшая концентрация глубоководных центров) у образцов без регулярного рельефа, наименьший — у образцов с регулярным рельефом на рабочей

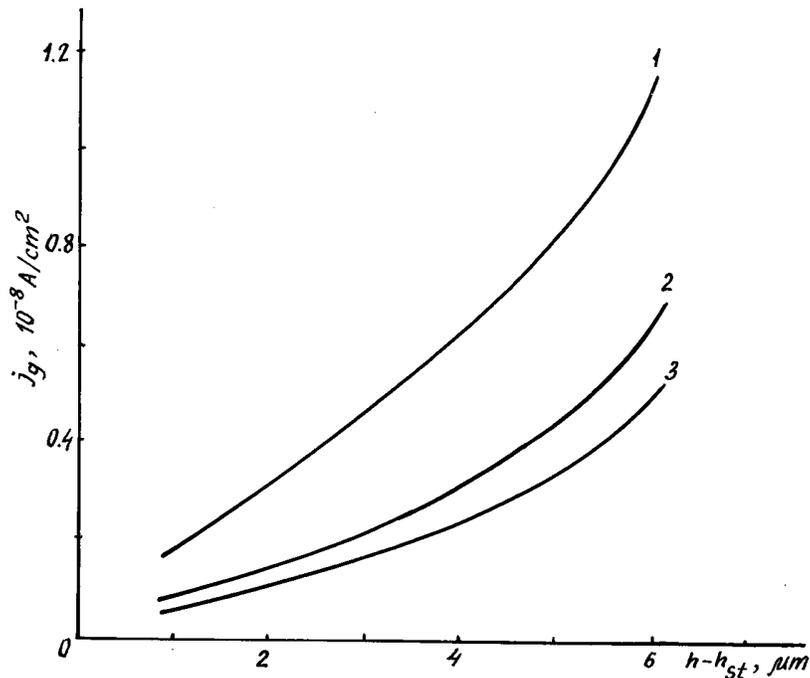


Рис. 2. Зависимости генерационного тока от толщины области объемного заряда после тех же переключений; 1 — группа 1, 2 — группа 2, 3 — группа 3.

поверхности и промежуточный — у образцов с регулярным рельефом на обратной стороне пластины. Для всех трех групп образцов имеет место возрастание производной dj_g/dh с увеличением h , т.е. возрастание концентрации глубоководных центров от рабочей поверхности в глубь пластины. Сравнение зависимостей j_g от $h-h_{st}$ подтверждает высказанное ранее соображение, что граница раздела кремний-диоксид кремния без регулярного рельефа также является геттером, хотя и более слабым, чем граница раздела с регулярным рельефом. Из зависимостей j_g от $h-h_{st}$ видно, что в начале дообразования инверсионного слоя (при наибольших $h-h_{st}$) выполняется неравенство $j_{gdl} \gg j_{gs}$. Этот результат подтверждает высказанные выше соображения.

Наши исследования показали, что регулярный рельеф на границе раздела кремний–диоксид кремния является эффективным геттером на глубине нескольких сотен микрон. Выбор оптимальных параметров регулярного рельефа является задачей дальнейшего исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 98–02–18250.

Список литературы

- [1] *Kang J.S., Schroder D.K.* // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 8. P. 2974–2985.
- [2] *Kim E.D., Kim S.C., Park J.M., Grekhov I.V.* et al. // J. Electrochem. Soc. 1997. V. 144. N 2. P. 622–624.
- [3] *Грехов И.В., Берман Л.С., Костина Л.С.* et al. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 12.
- [4] *Берман Л.С., Абдурахманов К.П., Власов С.И.* и др. // Изв. АН Узбекской ССР. Сер. физ-мат. наук. 1980. № 5. С. 55–58.
- [5] *Берман Л.С., Власов С.И.* // Микроэлектроника. 1989. Т. 18. № 4. С. 374–376.
- [6] *Sah C.T., Fu H.S.* // Phys. Stat. Sol. (a). 1972. V. 11. N 1. P. 297–310.
- [7] *Берман Л.С., Лебедев А.А.* // Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Л.: Наука, 1981. 176 с.
- [8] *Zerbst M.* // Zeitschr. Angew. Phys. 1996. Bd22. H1. S. 30–33.
- [9] *Zakharow A.K., Neizvestni I.G.* // Phys. Stat. Sol. (a). 1975. V. 30. N 1. P. 419–425.