

В.А. ПИЛИПЕНКО, Д.В. ВЕЧЕР, В.В. ПОНАРЯДОВ, В.А. ГОРУШКО,
В.С. СЯКЕРСКИЙ, Т.В. ПЕТЛИЦКАЯ

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ГЕТТЕРИРОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН НА СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА Si – SiO₂

Analyses were conducted on the gettering process influence of the silicon wafers on the film properties, obtained by means of the thermal silicon oxidation and Si-SiO₂ separation margin. It was established, that the films, grown on the wafers with gettering, possess the more perfect structure and silicon-silicon dioxide separation margin, which ensures reduction of the charge density and surface states at the Si-SiO₂ separation margin, thus enhancing reliability of the MOS IC functionality.

Большое значение для создания полупроводниковых приборов и интегральных микросхем имеет структурная однородность окисной пленки. Многочисленные дефекты, появляющиеся в ней в процессе получения и при последующих операциях технологического цикла, могут значительно снизить достоинства планарной технологии. Кроме того, по мере увеличения степени интеграции схем повышаются требования к надежности планарных структур, которая во многом определяется свойствами и стабильностью параметров диэлектрических слоев.

Для достижения высокого качества диэлектрических покрытий на кремнии, сформированных как высокотемпературными, так и низкотемпературными процессами, особенно тонких слоев, большое внимание уделяется качеству подготовки поверхности кремниевых пластин, от которого зависят основные параметры формируемых диэлектрических покрытий [1]: величина и разброс плотности поверхностных состояний на границе раздела, пористость, пробивное напряжение.

Поверхность полупроводниковых пластин характеризуется микрорельефом, кристаллическим совершенством поверхностных слоев и степенью физико-химической чистоты. Наличие на подложке примесных загрязнений является причиной образования в диэлектрике кристаллических включений, приводящих из-за фазовых изменений кристаллитов к повышенному порообразованию и нарушению ее сплошности при термообработках.

Одним из эффективных методов очистки поверхности кремниевых пластин от примесных загрязнений и быстродиффундирующих примесей является метод лазерного геттерирования.

Авторами данной работы исследовалось влияние процесса геттерирования кремниевых пластин на свойства двуокиси кремния, полученной путем термического окисления кремния, и на границы их раздела. Геттерирующий слой создавался путем обработки нерабочей стороны кремниевой пластины непрерывным лазерным излучением с плотностью мощности $E_{m0} = 5,5 \cdot 10^5$ Вт/см², шагом и скоростью сканирования $H = 250$ мкм и $V = 60$ см/с соответственно. Диэлектрические пленки получали в результате термического окисления кремния в среде сухого кислорода.

Об улучшении свойств диэлектрических пленок, выращенных на геттерированных пластинах, свидетельствуют результаты электронно-микроскопических исследований на просвет пленок толщиной 20 нм, которые указывают на однородность их структуры. О влиянии геттерирования судили по результатам контроля параметров тестовых МОП-конденсаторов с развитым рельефом, в частности тока утечки при напряжении на затворе $U = 5$ В и пробивного напряжения. Тестовый конденсатор считался годным, если величина тока утечки для него составляла менее 10^{-10} А. Увеличение выхода годных конденсаторов с 55 до 80 % и величины пробивного напряжения с $10 \div 17$ В до $13 \div 20$ В, т. е. в 1,3 раза (рис. 1 а) говорит о преимуществе пластин, прошедших лазерное геттерирование.

Для исследования влияния такой обработки на свойства границы раздела Si – SiO₂ проводился анализ МОП-структур с поликремниевым затвором, изготовленных на пластинах, половина которых подвергалась лазерному геттерированию. Параметры границы раздела определялись путем записи вольт-фарадных и dC/dU -характеристик МОП-структур, а также вольт-температурных испытаний при $t_1 = 227$, $t_2 = 247$ и $t_3 = 267$ °С и напряжении на затворе 5 В с отрицательной полярностью.

Согласно вольт-фарадным характеристикам данных структур (рис. 1 б) и проведенным на их основании расчетам плотность заряда на участке, располагающемся над геттером, составляет $(0,6 \div 1,1) \cdot 10^{11}$ см⁻², а вне его – $(1,3 \div 2,1) \cdot 10^{11}$ см⁻², т. е. в среднем в два раза меньше. Изучение спектров быстрых поверхностных состояний (рис. 2 а) показало, что на участке над геттером величина быстрых поверхностных состояний в середине запрещенной зоны составляет $0,9 \cdot 10^{11}$ см⁻²В⁻¹, а вне его – $1,6 \cdot 10^{11}$ см⁻²В⁻¹, что приблизительно в 1,8 раза меньше.

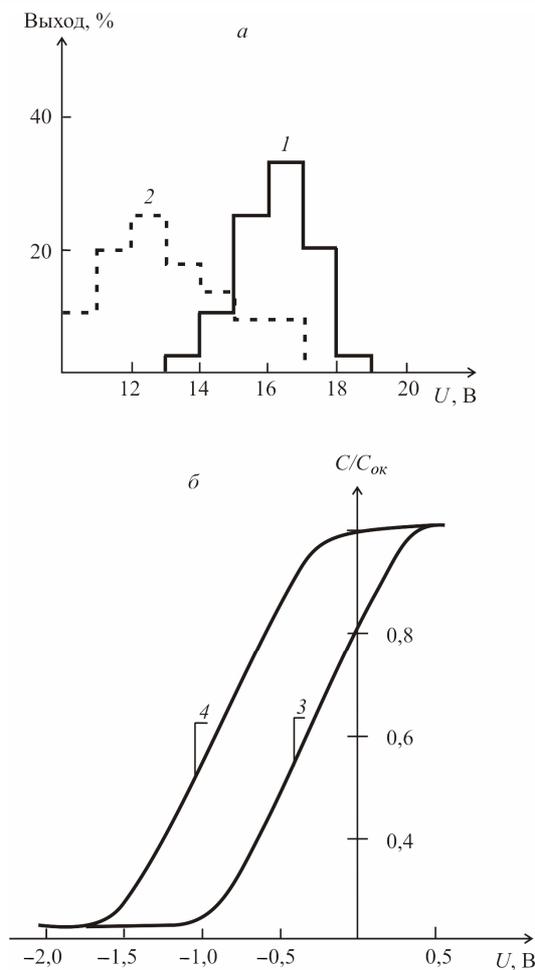


Рис. 1. Гистограммы распределения пробивного напряжения пластины SiO₂ толщиной 20 нм (а) и вольт-фарадные характеристики МОП-структур (б) на пластинах с лазерным геттерированием (1, 3) и без него (2, 4).

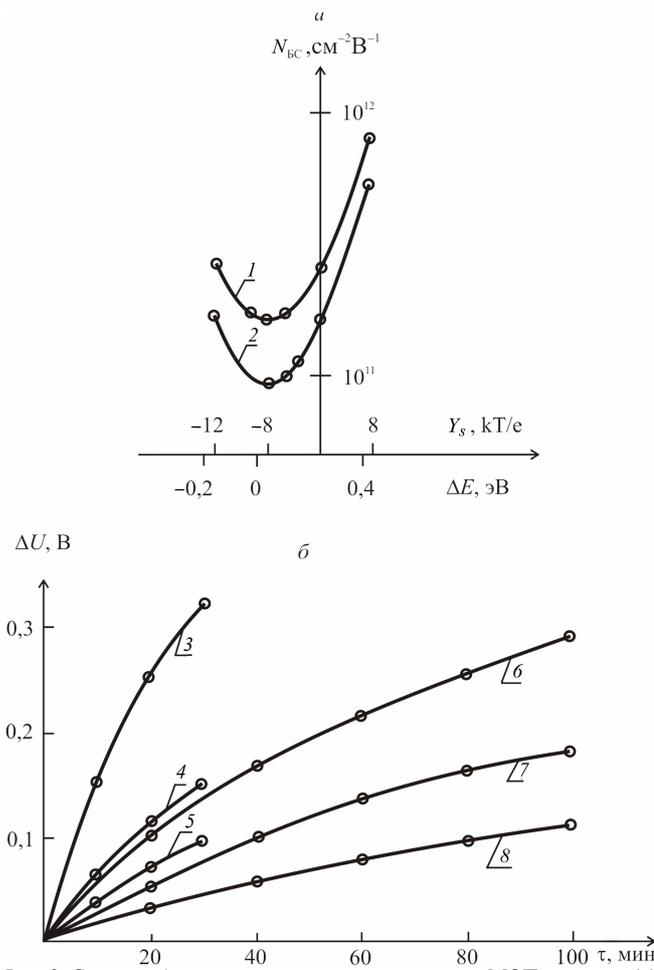


Рис. 2. Спектры быстрых поверхностных состояний МОП-структур (а) и величина дрейфа порогового напряжения *p*-канального транзистора от времени испытаний (б) для пластин с лазерным геттерированием (2, 6, 7, 8) и без него (1, 3, 4, 5) при различных температурах испытаний: $t_1 = 227^\circ\text{C}$ – 3, 6, $t_2 = 247^\circ\text{C}$ – 4, 7, $t_3 = 267^\circ\text{C}$ – 5, 8

Значительное снижение величины фиксированного заряда на границе раздела Si – SiO₂ на пластинах с лазерной обработкой нерабочей стороны свидетельствует о получении более совершенной пленки термической двуокиси кремния на кремнии, а также об очистке поверхности кремния от ионных загрязнений. Уменьшение плотности быстрых поверхностных состояний говорит о достижении более качественной границы раздела Si – SiO₂ с меньшей плотностью энергетических уровней в запрещенной зоне кремния.

Улучшение свойств границы раздела при термическом окислении кремния на геттерированных пластинах, подтверждают результаты вольт-температурных испытаний МОП-конденсаторов. Одной из основных причин дрейфа порогового напряжения МОП СБИС с поликремниевым затвором является захват носителей заряда на границе раздела, наиболее сильно проявляющийся при отрицательном напряжении на затворе, который приводит к увеличению порогового напряжения *p*-канального транзистора. На пластинах с геттером данный дрейф порогового напряжения значительно меньше, чем на пластинах без него: $\Delta U_{п} = -0,1$ В и $\Delta U_{п} = -0,35$ В соответственно ($t = 223^\circ\text{C}$, $U_3 = -5$ В, $\tau = 90$ мин). Контроль надежности работы *p*-канальных транзисторов проводился по результатам экспериментальных зависимостей величины дрейфа порогового напряжения от времени испытаний ($U_3 = -5$ В), для пластин с геттером и без него для температур: $t_1 = 227$, $t_2 = 247$ и $t_3 = 267^\circ\text{C}$ (рис. 2 б). С этой целью:

- определялось время испытаний при соответствующей температуре, обеспечивающей дрейф порогового напряжения 0,1 В для пластин с геттером ($\tau_1 = 90$, $\tau_2 = 40,1$, $\tau_3 = 19,08$ мин) и без него ($\tau_1 = 31$, $\tau_2 = 13,3$, $\tau_3 = 6,1$ мин);
- рассчитывались коэффициенты $A_1 = t_2(t_1 - t)/(t_2 - t_1) = 11,14$ и $A_2 = t_3(t_1 - t)/(t_3 - t_1) = 5,78$ (температура эксплуатации $t = 77^\circ\text{C}$);

• из соотношения $H = \tau_1(\tau_1/\tau_2)_A$ рассчитывалось время работы ИМС, изготовленных на пластинах с геттером $H_{\text{гет}} = 12\,400$ и без него $H = 6\,820$ ч.

Проведенный расчет показал, что для пластин с геттером надежность работы МОП ИМС в 1,8 раза выше, чем без него (12 400 и 6 820 ч соответственно), т. е. геттерирование кремниевых пластин обеспечивает более совершенные свойства границы раздела.

Таким образом, лазерная обработка нерабочей стороны кремниевых пластин в режиме $H = 250$ мкм, $E_{\text{м0}} = 5,5 \cdot 10^5$ Вт/см², $V = 60$ см/с перед термическим окислением при температуре, превышающей температуру последующих длительных высокотемпературных процессов, позволяет в 2 раза снизить плотность заряда, в 1,8 раза – плотность поверхностных состояний на границе раздела кремний – двуокись кремния, а также надежность работы МОП ИМС. Выращенные на таких пластинах пленки двуокиси кремния имеют улучшенную структуру, более высокую стабильность заряда и высококачественную границу раздела.

1. Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников / Под ред. Б.Д. Луфт. М., 1982.

Поступила в редакцию 22.02.07.

Владимир Александрович Пилипенко – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор кафедры физики полупроводников и наноэлектроники.

Дмитрий Вячеславович Вечер – первый заместитель генерального директора научно-производственного объединения «Интеграл».

Владимир Васильевич Понарядов – кандидат физико-математических наук, заместитель проректора

Валентина Алексеевна Горушко – ведущий инженер Государственного центра «Белмикрoанализ», НТЦ «Белмикросистемы» НПО «Интеграл».

Валентин Степанович Сякерский – директор НТЦ «Белмикросистемы» НПО «Интеграл».

Татьяна Владимировна Петлицкая – кандидат технических наук, ведущий инженер Государственного центра «Белмикрoанализ» НТЦ «Белмикросистемы» НПО «Интеграл».