

ПЛАЗМЕННО-ИММЕРСИОННАЯ ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ БОРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ УЛЬТРАМЕЛКИХ p^+ -n ПЕРЕХОДОВ В КРЕМНИИ

А.Н. Аверкин, А.А. Орликовский, К.В. Руденко

*Физико-технологический институт РАН,
117218, г. Москва, Нахимовский просп., 34.
orlikovsky@ftian.oivta.ru , rudenko@ftian.oivta.ru*

Планируемое снижение топологических проектных норм в производстве кремниевых КМОП УБИС до 0.07 – 0.1 мкм в ближайшие годы [1] ставит перед существующими технологиями изготовления интегральных МОП-транзисторов задачи, решение которых лишь частично обеспечивается применением традиционных методов и оборудования. Масштабируемое уменьшение толщины сильнолегированных областей стока и истока, а также необходимость прецизионного легирования канала для уменьшения короткоканальных эффектов [2] приводит к необходимости разработки эффективных технологий формирования ультрамелкого легирования слоев суб-100 нм диапазона глубины.

Широко применяемые методы пучковой (лучевой) ионной имплантации становятся малопродуктивными в диапазоне энергий ионов ниже 5 кЭв, что связано с неизбежным падением тока пучка, формируемого ионной оптикой. Использование оксидных и резистивных масок для дополнительного торможения высокоэнергетичных ионов при ультрамелком легировании поверхностных областей кремния существенно усложняет технологию и не обеспечивает пространственную точность в нанометровом диапазоне толщин.

Альтернативным способом ультрамелкого легирования, позволяющим разрешить эту проблему и интенсивно развивающимся в настоящее время, является метод широкоапертурной плазменно-иммерсионной ионной имплантации (ПИ³) [3]. В отличие от традиционных имплантеров, иммерсионный режим дает сокращение времени набора дозы в десятки раз с возможностью прецизионной регулировки энергии ионов в диапазоне 0.2 – 5 кэВ. В то же время, принципиальное отсутствие масс-сепарации ионов предъявляет повышенные требования к разработке конкретных процессов имплантации.

В настоящем докладе представлены результаты цикла работ по применению метода ПИ³ для создания суб-100 нм сильнолегированных p^+ - слоев Si на кремниевых подложках n - типа Ø150 мм. Выбор бора в качестве легирующей примеси обусловлен высокой растворимостью в кремнии и возможностью получения низких электрических сопротивлений p^+ -слоев. Но небольшая атомная масса В требует применения низких ускоряющих напряжений для получения величины проективного пробега $R_p < 50-70$ нм. Поэтому именно в данном случае целесообразно использовать плазменно-иммерсионную имплантацию.

Процесс имплантации проводился на экспериментальной установке, разработанной с учетом требований, предъявляемых к ПИ³. Прототипом широкоапертурного источника плотной плазмы послужила конструкция микроволнового источника плазмы, описанная в [4]. Особое внимание при конструировании было уделено защите рабочих поверхностей камеры высокочистым кварцем, препятствующим загрязнению имплантируемого слоя конструкционными материалами. Плотность плазмы составляла $n_i = 1 \times 10^{11} - 1 \times 10^{12} \text{ см}^{-3}$ в диапазоне давлений $P = 5 \times 10^{-2} - 1 \text{ Па}$ при латеральной неоднородности в зоне пластины $\pm 2\%$ на диаметре 150 мм. Ускоряющий отрицательный потенциал в диапазоне 0.5 - 5 кВ прикладывался к пластине в виде импульсов длительностью 10 мкс с частотой следования до 2 кГц. Время набора дозы имплантации в таком режиме составляло 10 - 30 сек.

Для исключения каналирования бора процесс ПИ³ проводился в две стадии. Вначале проводилась аморфизация поверхностной области кремния имплантацией ионов

Xe^+ , $E = 5\text{кэВ}$ из плазмы ксенона, затем, после смены газа в рабочей камере на BF_3 , собственно имплантация бора, преимущественно в виде ионов BF_2^+ .

Профили распределения имплантированных компонентов по глубине исследовались методом ВИМС, слоевое электросопротивление R_s и его однородность по пластине –автоматизированным четырехзондовым методом.

Полученные профили имплантированного бора иллюстрируются рис.1.

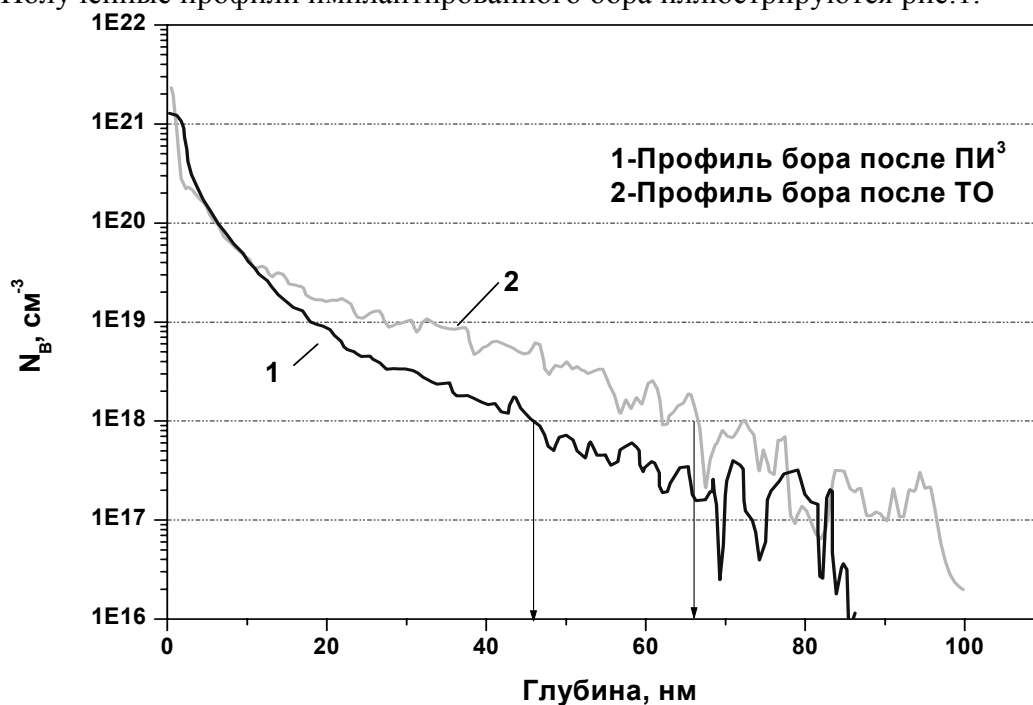


Рис. 1. Распределение бора по глубине после иммерсионной имплантации в кремний из плазмы BF_3 (1) и после термического отжига (2). $D_B = 1,9 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $E = 3,75 \text{ кэВ}$.
 Параметры отжига: $T = 850 \text{ C}$, $t = 15 \text{ мин}$.

Отсюда видно, что при уровне легирования p-кармана (подложки), в котором формируется МОП-транзистор, $\sim 1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ глубина p+-n переходов областей стока и истока, созданных ПИ³, после активации В термическим отжигом составляет 50 – 70 нм при энергии ионов 2-4 кэВ. Возможные уровни легирования бором приведены в таблице.

Табл.1. Уровни легирования суб-100 нм p+-слоев, достигаемые в процессе ПИ³

Доза имплантации по бору $D_B, \text{ см}^{-2}$	1.6×10^{14}	3.0×10^{14}	1.1×10^{15}	1.7×10^{15}	1.9×10^{15}
Макс. слоевая конц. бора $N_B, \text{ см}^{-3}$	9.5×10^{19}	2.3×10^{20}	7.6×10^{20}	8.9×10^{20}	1.4×10^{21}
Слоевое сопротивление $R_s, (\text{Ом}/\square)$	420	287	155	107	82

Поскольку бор имплантируется в составе трехатомного иона BF_2^+ , поверхностный слой содержит избыточное количество фтора, частично удаляющегося в процессе термического отжига (рис. 2).

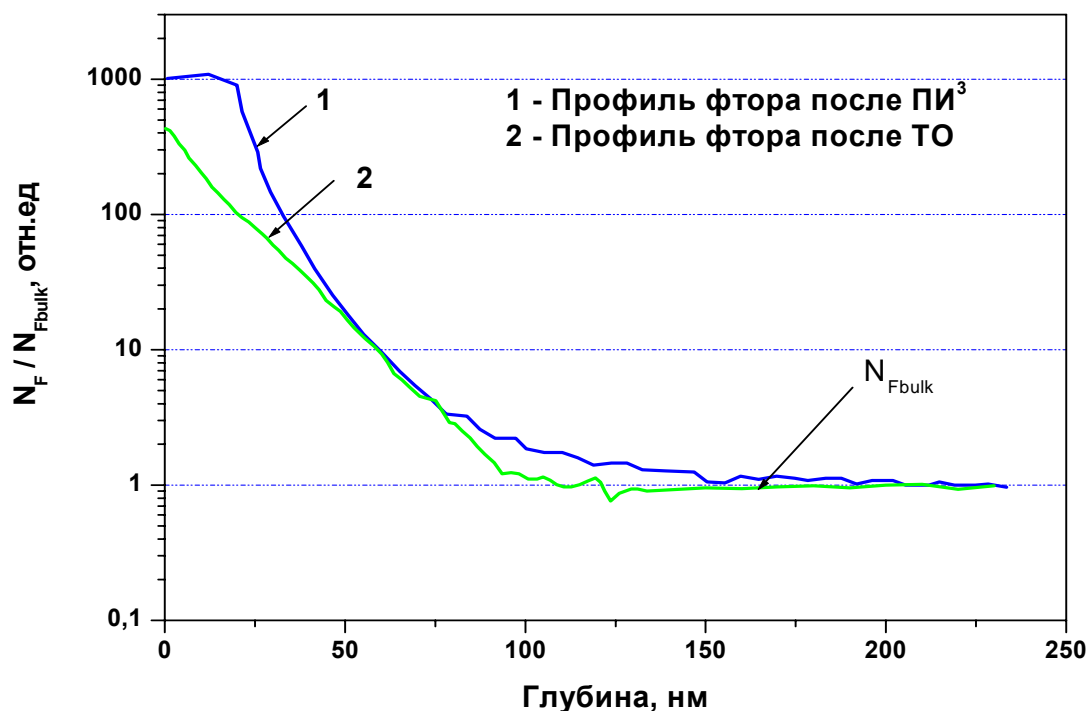


Рис. 2. Распределение фтора по глубине в поверхностном слое кремния после ПИ³ из VF₃ (кривая 1) и после термического отжига (кривая 2). Условия имплантации и отжига идентичны приведенным на рис. 1.

$N_{F\text{ bulk}}$ — уровень фоновой концентрации фтора в кремнии.

Как было показано ранее [5], совместная имплантация бора и фтора эффективно подавляет аномально высокую диффузию бора во время отжига и снижает искажение исходного профиля имплантации. При этом фтор связывается в электрически неактивные комплексы с вакансиями либо находится в междоузлиях решетки рядом с узельными атомами В.

По нашим данным, какого-либо влияния избыточного фтора на электрические свойства слоев не обнаружено. Тем не менее, как показали предварительные эксперименты, интегральное остаточное количество фтора ($N_F / N_{F\text{ bulk}} = 51$) может быть снижено на порядок при использовании быстрого отжига (RTA) имплантированных структур при более высокой температуре.

Таким образом, применение плазменно-иммерсионной ионной имплантации позволяет решить проблему ультрамелкого легирования в создании глубокосубмикронных структур КМОП УБИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *The International Techn. Roadmap for Semiconductors Technology Needs. 1999 Edition.*
2. *ULSI Devices. / Ed. by Chang C.Y., Sze S.M., N.-Y., 2000, 729 pp.*
3. *Jones E.C., Linder B.L., Cheung N.W.// Jpn.J.Appl.Phys., Pt.1, 1996, V.35, No 2b, p.1027.*
4. *Аверкин С.Н., Валиев К.А., Кошкин В.В., Орликовский А.А., Руденко К.В., Суханов Я.Н.// Микроэлектроника, 1999, Т.28, № 6, с. 427.*
5. *Shano T., Kim R., Hirose T. et al.// in Proc. IEEE, 2001, p. 131.*