

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КНИ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Лабунов В.А., Бондаренко В.П., Долгий Л.Н., Белоус А.И.\* , Малышев В.С.\* ,  
Комаров Ф.Ф.\*\* , Мильчанин О.В.\*\*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
220013 Минск, ул. П.Бровки 6

\* УП “Белмикросистемы” НПО “Интеграл”, 220180 Минск, ул. Корженевского 12

\*\* Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем БГУ,  
220064 Минск, ул. Курчатова 7

Структуры кремний-на-изоляторе (КНИ) представляют собой монокристаллическую кремниевую подложку, на поверхности которой сформированы изолирующий слой двуокиси кремния и пленка монокристаллического кремния. Электронные приборы формируются в пленке кремния и полностью изолированы от подложки слоем двуокиси кремния. Интерес к КНИ структурам объясняется серьезными преимуществами которые они обеспечивают по сравнению с традиционными кремниевыми подложками. Полная диэлектрическая изоляция электронных компонентов в КНИ структурах позволяет уменьшить паразитные емкости между элементами схем и подложкой, увеличить быстродействие и уменьшить потребляемую мощность. Интегральные схемы, изготовленные в КНИ структурах, отличаются повышенной устойчивостью к внешним воздействиям и способны работать в расширенном диапазоне температур. В настоящей работе представлен анализ развития исследований по технологии КНИ структур в Республике Беларусь.

Первые попытки создания КНИ структур были предприняты в Беларуси в середине 80-х годов в СКТБ НПО “Интеграл” и на кафедре микроэлектроники Минского радиотехнического института. Для создания КНИ структур использовался процесс лазерной рекристаллизации пленки поликристаллического кремния, нанесенного на слой двуокиси кремния [1]. КНИ структуры, полученные методом рекристаллизации, имели повышенную дефектность и их области применения ограничивались приборами низкой степени интеграции. За рубежом благодаря использованию мощных лазеров для рекристаллизации удалось достигнуть существенного улучшения качества КНИ структур такого типа. Однако и сейчас они не используются для производства схем высокой степени интеграции.

В 1986 году специалисты кафедры микроэлектроники БГУИР показали принципиальную возможность создания КНИ структур на основе окисленного пористого кремния (ПК). Предложенная технология основана на процессе селективного анодирования сильно легированных слоев p+-типа проводимости в эпитаксиальных структурах p/p+/p-типа. При анодировании во фтористоводородной кислоте слой p+-типа проводимости превращался в пористый кремний, который затем методом термического окисления преобразовывался в слой двуокиси кремния. В 1987-1990 годах совместно со специалистами СКТБ НПО “Интеграл” были выполнены прикладные исследования по разработке отечественной технологии изготовления КНИ структур на основе этого процесса [2-4]. Основные проблемы разработки КНИ структур на основе окисленного ПК были связаны с обеспечением равномерного анодирования p+-слоя и окисления пористого кремния. Для получения КНИ структур с низкой дефектностью были разработаны режимы получения ПК с пористостью 56% и его окислением в сухом кислороде в условиях высокого давления. Эти режимы позволяли получать слои окисленного ПК толщиной 0,5-1,8 мкм с удельным сопротивлением  $(1-4) \cdot 10^{16}$  Ом·см, диэлектрической постоянной 3,66-4,2 и зарядом  $7 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$  см<sup>-2</sup>. Толщина пленки кремния составляла 0.2-0.5 мкм, а прогиб КНИ структур диаметром 100 мм

не превышал 20 мкм. Для проверки возможности использования разработанных КНИ структур в 1990-1991 годах в них были изготовлены различные тестовые элементы КМОП БИС с размерами элементов 0,8-2,4 мкм. Удельные токи утечки р-п переходов, сформированных в кремниевой пленке, не превышали 100 нА/см<sup>2</sup>, что свидетельствовало о высоком структурном совершенстве этой пленки. Для определения быстродействия КМОП компонентов в КНИ структурах были изготовлены многокаскадные кольцевые генераторы, экспериментальные образцы которых были подвергнуты комплексным испытаниям при различных напряжениях питания в широком диапазоне температур и условиях облучения гамма квантами. Задержка переключения КМОП вентилях в КНИ структурах была на 40 % меньше, чем для таких же приборов, изготовленных в объемном кремнии. Кольцевые генераторы сохраняли работоспособность в температурном диапазоне 77-400 К при дозах облучения до 10<sup>7</sup> Рад. КНИ структуры на основе окисленного ПК были использованы в условиях опытного производства СКТБ для изготовления логических КМОП схем серии 74АС. Полученные образцы схем показали рекордное для того времени быстродействие и высокую радиационную стойкость [5,6]. Несмотря на это работы по КНИ технологии в 1993 году были приостановлены из-за трудностей, связанных с финансированием исследований в период перестройки в странах СНГ. Поисковые исследования в период 1994-1998 годов проводились только в БГУИР и НИИ ПФП БГУ.

За рубежом исследования по совершенствованию КНИ технологии активно продолжались и это привело к появлению промышленных технологий производства КНИ структур [7]. Современные технологии основаны на имплантации кислорода (SIMOX), имплантации водорода и сплавлении пластин (Wafer Bonding и Smart Cut), эпитаксии кремния на пористом кремнии и сплавлении пластин (ELTRAN) [8].

В Беларуси активные исследования по КНИ технологии возобновились в конце 90 годов после получения финансовой поддержки в рамках Государственной программы “Белэлектроника”. В настоящее время научно-исследовательские работы ведутся по двум взаимно-связанным направлениям: разработка отечественной технологии изготовления КНИ структур, удовлетворяющих требованиям современной микроэлектроники, и разработка элементной базы субмикронных КМОП КНИ БИС. В исследованиях участвуют БГУИР, НИИПФП БГУ, УП “Белмикросистемы”. Большинство экспериментальных исследований проводится в чистых производственных помещениях НПО “Интеграл”. В настоящем докладе будут представлены результаты этих исследований и рассмотрены перспективы дальнейшего развития КНИ технологии в Республике Беларусь.

1. В.Лабунов, Н.Данилович, А.Демчук. Зарубежная электронная техника, **10**, 46 (1984).
2. В.Бондаренко, Л.Долгий, А.Дорофеев, В.Яковцева. Микроэлектроника, **23**, 6 (1994).
3. V.Bondarenko, A.Dorofeev. In: Physical and Technical Problems of SOI Structures and Devices/ Eds J.-P.Colinge, V.Lysenko, A.Nazarov. Kluwer Academic Publishers (1995). P.15.
4. V.Bondarenko, A.Dorofeev, Ya.Bogatirev, J.P.Colinge. IEEE Transactions on Nuclear Science, **44**, 1719 (1997).
5. V.Bondarenko and V.Yakovtseva. In: Properties of Porous Silicon / Ed. L.Canham. IEE Books, EMIS Datareviews Series, № 18 (1997). P. 66.
6. V.Bondarenko, V.Yakovtseva, L.Dolgyi, N.Vorozov, S.Volchek, G.Lamedica, M.Balucani, A.Ferrari. In: Progress in SOI Structures and Devices Operating at Extreme conditions/ Eds F.Balestra, A.Nazarov. Kluwer Academic Publishers (2002). P.39.
7. <http://www.soisolutions.com>
8. T.Yonehara, K.Sakaguchi. In: Progress in SOI Structures and Devices Operating at Extreme conditions/ Eds F.Balestra, A.Nazarov. Kluwer Academic Publishers (2002). P.309.