

## ВЛИЯНИЕ БЫСТРОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ИСХОДНЫХ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН НА ИХ ПИРОГЕННОЕ ОКИСЛЕНИЕ

Д. т. н. В. А. Пилипенко, к. т. н. В. А. Солодуха, В. А. Горушко, А. А. Омельченко

ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»  
Беларусь, г. Минск  
office@bms.by

*Представлены результаты исследования влияния быстрой термической обработки исходных кремниевых пластин на процесс их пирогенного окисления. Показано, что данная обработка приводит к повышению качества двуокиси кремния, сформированной на их поверхности за счет уменьшения толщины нарушенного слоя, который оказывает существенное влияние на начальный этап процесса окисления.*

*Ключевые слова: быстрая термическая обработка, нарушенный слой, пирогенное окисление, коэффициент преломления.*

При изготовлении полупроводниковых интегральных микросхем (ИМС) основным материалом остается кристаллический кремний. Одним из основных процессов при изготовлении ИМС является окисление кремния, механизм которого оказывает существенное влияние на параметры полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. С увеличением степени интеграции толщина используемых в технологическом процессе пленок двуокиси кремния уменьшается до единиц нанометров. В связи с этим большое значение приобретает начальный этап процесса окисления и формирование переходной области Si — SiO<sub>2</sub>, который во многом зависит от состояния поверхности исходных кремниевых пластин [1].

В данной работе исследовался процесс формирования подзатворного диэлектрика толщиной 42,5 нм, который проводился путем пирогенного окисления кремния при температуре 850°C в течение 40 мин., и влияние на данный процесс быстрой термической обработки (БТО) исходных кремниевых пластин. Исследования проводились на пластинах КЭФ 4,5 и КДБ 12 ориентации <100> диаметром 100 мм. Часть пластин перед окислением подвергалась БТО, которая проводилась в естественных атмосферных условиях с нерабочей стороны пластины некогерентным оптическим излучением в течение 7 с, обеспечивая нагрев пластин до температуры 1100°C. Затем методом спектральной эллипсометрии и Фурье-спектрометрии проводился контроль параметров позатворного диэлектрика.

С помощью метода спектральной эллипсометрии было установлено, что характер распределения толщины двуокиси кремния по площади пластины не зависит от типа проводимости кремния и имеет соответствующую периодичность, определяемую газовым потоком окислителя в диффузионной трубе. При этом толщина оксида для пластин, подвергшихся БТО, имеет несколько меньшее значение, чем без обработки: для кремния КЭФ 4,5 с обработкой она составляет 48,05 нм, без обработки — 48,13 нм; для КДБ 12 — 48,42 нм и 48,48 нм соответственно. Данный факт связан с тем, что пластины, не проходившие быструю термообработку, имеют большую глубину нарушенного слоя, а значит и меньшую, чем в объеме, плотность атомов кремния. Это приводит к увеличению скорости окисления нарушенного слоя, так как в нем коэффициент диффузии кислорода будет выше, чем в объемном кремнии, а следовательно, и толщина оксида будет больше. Как видно разность по толщине оксида составляет от 0,8 нм и менее. Это говорит о том, что нарушенный слой влияет на скорость окисления только в самом начале процесса окисления.

Анализ также показал, что распределение коэффициента преломления двуокиси кремния по площади пластины носит такой же характер, как и толщины оксида, и не зависит от типа проводимости кремния. Однако само распределение в случае пластин с предварительной быстрой термообработкой значительно ближе к гауссовому, чем пластин без обработки, что указывает на более совершенную структуру пленок в первом случае. На это указывает и величина коэффициента преломления

пленок, которая имеет более низкое значение на пластинах с предварительной обработкой. Если без обработки для кремния КЭФ 4,5 она составляет в среднем 1,493, то с обработкой — 1,487. Для кремния КДБ 12 эти величины составили в среднем 1,488 и 1,486 соответственно. Учитывая, что коэффициент преломления пленки двуокиси кремния, полученной термическим окислением в среде сухого кислорода, составляет 1,46, то становится понятным, что предварительная быстрая термообработка позволяет получать оксидные пленки, структура которых более близка к пленкам, полученным при высокотемпературном окислении кремния в сухом кислороде.

Анализ спектров поглощения пленок двуокиси кремния, проведенный с применением Фурье-спектроскопии, показал существенное их изменение в случае проведения предварительной БТО пластин кремния перед формированием подзатворного оксида. Как показали исследования, данные изменения не зависят от типа проводимости кремния и имеют место существенное увеличение поглощения в области полосы, характеризующей связь Si — O в двуокиси кремния. Кроме того, наблюдается ее небольшой сдвиг в коротковолновую область на  $0,9\text{--}2,5\text{ см}^{-1}$ , а также увеличение интенсивности и уменьшение полуширины, свидетельствуя об изменении концентрации связей Si — O, их силы и углов между ними, что говорит об изменении микроструктуры, уплотнении и снижении пористости пленки двуокиси кремния, а также об уменьшении напряжений связи Si — O.

Исходя из полученных результатов, можно предложить следующий механизм такого процесса окисления. На начальном этапе рост оксида идет за счет нарушенного поверхностного слоя, с деформированной кристаллической решеткой, толщина которого составляет около 5 нм [2]. Поскольку формирование термического оксида на 44% идет за счет кремниевой подложки, при толщине подзатворного диэлектрика 47—49 нм его верхняя часть толщиной 12,5 нм формируется за счет нарушенного слоя. Это означает, что микроструктура этой части оксида будет нарушенной, так как ее формирование происходит за счет поверхностного слоя с деформированной кристаллической решеткой. Это приводит к тому, что в данной части оксида будут иметь место в большей степени напряженные связи Si — O, оборванные связи Si, не заполненные кислородом, уменьшенная сила связей Si — O, измененные углы связей Si — O. Следовательно, весь оксид можно рассматривать как двухслойную систему с различной по толщине микроструктурой. Поскольку быстрая термообработка приводит к уменьшению толщины нарушенного до 1 нм и менее, в процессе термического окисления будут участвовать поверхностные слои кремния практически не испытывающие деформации кристаллической решетки, а следовательно, формируемая пленка будет иметь более однородную микроструктуру по всей своей толщине.

Таким образом, быстрая термическая обработка исходных кремниевых пластин приводит к повышению качества пленки двуокиси кремния, сформированной на их поверхности путем пирогенного окисления, за счет уменьшения толщины нарушенного слоя, который оказывает существенное влияние на начальный этап процесса окисления, приводя к образованию дополнительных связей Si — O, увеличению их силы и уменьшению напряжений, обеспечивая снижение коэффициента преломления и формирование однородной микроструктуры двуокиси кремния по всей ее толщине.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Красников Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов.— Москва: Техносфера, 2002.
2. Солодуха В. А., Белоус А. И., Чигирь Г. Г. Измерение глубины нарушенного слоя на поверхности кремниевых пластин методом оже-спектроскопии // Наука и техника.— 2016.— Т. 15, №4.— С. 329—334.

V. A. Pilipenko, V. A. Solodukha, V. A. Gorushko, A. A. Omelchenko

#### **Influence of rapid thermal treatment of the initial silicon wafers on their pyrogenic oxidation**

*The paper presents the research results on the influence of the rapid thermal treatment of the initial silicon wafers on the process of their pyrogenic oxidation. It is demonstrated, that such treatment results in the quality enhancement of the silicon dioxide, formed on the surface of the wafers, at the expense of reduction of the disrupted layer thickness, which has a considerable effect on the initial stage of the oxidation process.*

*Keywords: rapid thermal treatment, disrupted layer, pyrogenic oxidation, refraction ratio.*