

НАБЛЮДЕНИЕ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ, ОБЛУЧЕННОГО НИЗКИМИ ДОЗАМИ ИОНОВ СЕРЕБРА

В.В. Базаров¹⁾, В.И. Нуждин²⁾, В.В. Валеев³⁾, А.Л. Степанов⁴⁾

¹⁻⁴⁾ Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской академии наук, Сибирский тракт 10/7, 420029 Казань, Россия,

¹⁾ vbazarov1@gmail.com, ²⁾ nuzhdin@kfti.knc.ru, ³⁾ valeev@kfti.knc.ru, ⁴⁾ aanstep@gmail.com

Представлены результаты исследований методом спектральной эллипсометрии (СЭ) аморфного кремния (α -Si), сформированного на поверхности монокристаллических подложек (с-Si) низкодозовой и низкоэнергетической имплантацией ионов серебра. Имплантация проводилась с энергией 30 кэВ и плотностью ионного тока в пучке (0.1 – 5) мкА/см² в интервале доз (6.24·10¹²-1.3·10¹⁶) ион/см² при комнатной температуре облучаемых подложек. Был обнаружен эффект увеличения скорости генерации дефектов с увеличением плотности ионного тока.

Введение

Известно, что пористый кремний обладает уникальными физическими и химическими свойствами, которые определяются сетью наноразмерных пор в кристаллической матрице и развитой внутренней поверхностью этих пор. К настоящему моменту установлено, что одним из перспективных способов формирования пористого кремния является метод высокодозной низкоэнергетической ионной имплантации [1]. При этом, очевидно, что процессы зарождения и роста пор в кремнии при его облучении сопровождаются его аморфизацией, которая начинается непосредственно с момента начала имплантации. Как было показано ранее на примере наблюдений кремния, имплантированного ионами кобальта и серебра [2, 3], одним из наиболее информативных методов для исследования частично аморфизованных слоев является метод спектральной эллипсометрии. В настоящей работе приводятся новые результаты эллипсометрического анализа поверхности кремния, облученного ионами серебра при малых дозах имплантации и различных плотностях ионного тока.

Эксперимент

Объектами экспериментов служили монокристаллические (100) пластины кремния, имплантированные ионами серебра с энергией 30 кэВ в интервале доз 6.24·10¹²-1.3·10¹⁶ ион/см². Плотность тока в ионном пучке составляла 0.1-5 мкА/см².

Оптический анализ имплантированных слоев кремния проводился на спектральном эллипсометре «ES-2» (разработка и изготовление ИПЭ РАН) в диапазоне длин волн 380-820 нм. Спектральное разрешение составляло 6 нм, шаг 10 нм, угол падения $\varphi=70^\circ$. Для исследования кремния, имплантированного ионами Ag⁺ с энергией 30 кэВ, была выбрана оптическая модель изотропной гетерогенной пленки из смеси кристаллического и аморфного кремния на подложке из кристаллического кремния. Переменными параметрами в рамках данной модели были толщина имплантированного слоя, фактор заполнения аморфного кремния в нем и толщина естественного слоя окисла кремния на поверхности образца. Оптические параметры n и k слоя, подвергнутого бомбардировке ионами серебра, вычислялись

в зависимости от содержания аморфной фазы кремния в соответствии с приближением эффективной среды Бруггемана.

Расчетные спектральные зависимости ψ_{th} и Δ_{th} , полученные варьированием толщин имплантированного слоя и оксидной пленки, а также фактора заполнения аморфной фазы, сопоставлялись с экспериментальными спектрами $\psi_{exp}(\lambda)$ и $\Delta_{exp}(\lambda)$. Толщина естественного слоя окисла кремния, как правило, находилась в интервале 2-5 нм.

Результаты и их обсуждение

В силу специфических особенностей метода ионной имплантации распределение имплантированных ионов в облучаемом материале неоднородно по глубине. С помощью компьютерной программы SRIM-2011 (www.srim.org) было установлено, что в начальный период облучения в приповерхностной области кремния происходит накопление атомов серебра с максимумом статистического распределения концентрации по гауссовой кривой на глубине $R_p \sim 23.4$ нм, а разброс пробега ионов от R_p составляет $\Delta R_p \sim 7.1$ нм.

Совокупные результаты измерений и расчетов для имплантированных кремниевых пластин по данным СЭ в виде зависимости толщины аморфизированного слоя кремния от дозы имплантации ионов ¹⁰⁸Ag⁺ и ⁵⁹Co⁺ при плотности ионного тока 2 мкА/см² представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что в интервале доз имплантации от 6.24·10¹² до 6.24·10¹³ ион/см² происходит постепенное увеличение процентного содержания аморфного кремния в приповерхностном слое толщиной $\sim 23 - 25$ нм до состояния его полной аморфизации. При дальнейшем увеличении дозы имплантации толщина слоя, подвергнутого полной аморфизации, увеличивается до ~ 55 нм при дозе имплантации 6.24·10¹⁵ ион/см², что достаточно хорошо согласуется с расчетной толщиной имплантированного слоя $R_p + 2\Delta R_p = 37.6$ нм. Поскольку каждый имплантированный ион Ag⁺ в кремнии является независимым центром локального зарождения разрастающейся разупорядоченной области, то, очевидно, что толщина аморфизированного слоя несколько превышает расчетную толщину, определяемую профилем ионов Ag⁺. С помощью символов “звезда” для сравнения приведена аналогичная зависимость

