

Ионный синтез кристаллической фазы Ge в пленках SiO_xN_y при отжиге под высоким давлением

© И.Е. Тыщенко¹, Г.К. Кривякин¹, В.А. Володин^{1,2}

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, 630090 Новосибирск, Россия

E-mail: tys@isp.nsc.ru

(Получена 20 марта 2017 г. Принята к печати 17 апреля 2017 г.)

Изучено зарождение фазы кристаллического германия в пленках SiO_xN_y , имплантированных ионами Ge^+ с энергией 55 кэВ дозами $2.1 \cdot 10^{15} - 1.7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, после отжига при температуре $T_a = 800 - 1300^\circ\text{C}$ при давлениях 1 бар и 1–12 кбар. Из анализа полосы комбинационного рассеяния света сделано заключение об увеличении размеров преципитатов аморфного германия под действием гидростатического сжатия при температуре 1000°C . Рассеяние на оптических фононах, локализованных в нанокристаллах германия, наблюдалось лишь после отжига образцов с максимальным содержанием имплантированных атомов при температуре 1300°C . В спектрах фотолюминесценции наблюдался пик при $\sim 730 \text{ нм}$, природа которого связывается с проявлением квантово-размерного эффекта в нанокристаллах размером $\sim 3 \text{ нм}$.

DOI: 10.21883/FTP.2018.02.45457.8595

1. Введение

Оксид кремния, нитрид кремния и оксинитрид кремния являются основными диэлектриками, используемыми в современных кремниевых интегральных схемах [1]. Ширина запрещенной зоны SiO_2 , самого распространенного диэлектрика кремниевой электроники, составляет 8 эВ, а диэлектрическая проницаемость равна 3.85. Нитрид кремния (Si_3N_4) имеет ширину запрещенной зоны $\sim 4.6 \text{ эВ}$ и диэлектрическую проницаемость ~ 6 . Это делает его более пригодным с точки зрения создания элементов памяти и инжекции носителей заряда. Однако нитрид кремния по сравнению с SiO_2 имеет высокую плотность состояний на границе раздела с кремнием. Химический состав оксинитрида кремния (SiO_xN_y) может быть плавно изменен от SiO_2 до Si_3N_4 . Как следствие, соответственно могут изменяться его физические характеристики и свойства [2]. Оксинитрид кремния имеет меньшую плотность состояний на границе с Si. В последние годы SiO_xN_y рассматривается как диэлектрик, альтернативный оксиду кремния, например, при переходе к субнанометровым толщинам подзатворного диэлектрика. Меньшая величина ширины запрещенной зоны и большее значение диэлектрической проницаемости, чем у оксида кремния, также делают этот материал привлекательным с точки зрения инжекции и хранения носителей зарядов.

Эффективными ловушками для электронов являются нанокристаллы германия [3]. Одним из универсальных методов создания нанокристаллов Ge в оксиде кремния, совместимым с имеющейся кремниевой технологией, является метод ионно-лучевого синтеза [4]. Ранее было показано, что рост нанокристаллов германия в SiO_2 подчиняется диффузионному механизму [5]. Однако в оксинитриде кремния коэффициенты диффузии многих

примесей, в том числе и германия, много меньше, чем в SiO_2 [6]. Это накладывает некоторые ограничения на процесс ионно-лучевого синтеза в SiO_xN_y . Гидростатическое сжатие, приложенное в процессе постимплантационного отжига, приводит к увеличению коэффициента диффузии Ge, имплантированного в SiO_2 , на 2–3 порядка величины [5]. Поэтому целью настоящей работы являлось установить закономерности роста кристаллической фазы германия в пленках SiO_xN_y в результате имплантации ионов Ge^+ и последующего отжига при высоких давлениях.

2. Методика экспериментов

Пленки SiO_xN_y ($x = 0.25$, $y = 1$) с коэффициентом преломления ~ 1.882 толщиной $\sim 75 \text{ нм}$ осаждались из смеси газов SiH_2Cl_2 ($50 \text{ с} \cdot \text{см}^3$), N_2O ($150 \text{ с} \cdot \text{см}^3$) и NH_3 ($150 \text{ с} \cdot \text{см}^3$) при температуре 780°C под давлением 200 мТорр на подложки кремния с удельным сопротивлением 3–10 Ом·см, ориентированные в направлении {100}. Предварительно на кремниевых пластинах был выращен буферный слой SiO_2 толщиной 2 нм. Имплантация пленок оксинитрида кремния проводилась ионами Ge^+ с энергией 55 кэВ дозами $2.1 \cdot 10^{15}$, $5.8 \cdot 10^{15}$ и $1.7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Используемые параметры ионов обеспечивали формирование профиля атомов германия в пленке в форме распределения Гаусса, максимум которого находился на глубине $\sim 60 \text{ нм}$, а концентрация атомов Ge в максимуме составляла 0.9, 2.5 и 7.5 ат% соответственно. На рис. 1 представлено пространственное распределение атомов германия для максимальной дозы ионов Ge^+ , рассчитанное методом Монте-Карло с использованием стандартной программы SRIM [7]. Плотность ионного тока составляла $\sim (0.5 - 1.0) \text{ мкА/см}^2$. Температура подложки