

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ С УЧАСТИЕМ КИСЛОРОДА

Ш.А.Махмудов¹, М.А.Жалелов², Н.Ж. Одилова³, М.Ф. Жураева¹

¹Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан,

²Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза, Нукус, Узбекистан,

³Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан.

Известно, что кислород в монокристаллическом кремнии является основной фоновой примесью, определяющей поведение термодоноров, термостабильность времени жизни носителей заряда, образование микродефектов. Эффективность формирования микродефектов определяется диаметром и массой выращенного кристалла, скоростью его охлаждения и концентрацией кислорода в кремнии. Уменьшение содержания микродефектов можно достичь, регулируя режим выращивания и понижая концентрацию кислорода в кристалле дополнительной термообработкой. Таким образом в процессе роста кристалла по мере его охлаждения на поверхность монокристалла и фронта кристаллизации стекают различные дефекты типа вакансии, собственные и примесные атомы внедрения, ассоциаты атомов примеси друг с другом и точечными дефектами. Но при высокой скорости охлаждения эти дефекты остаются в объеме кристалла и являются причиной образования неоднородностей в монокристалле. В данной работе приводятся экспериментальные результаты исследований структурных неоднородностей, образованных в монокристаллическом кремнии с участием кислорода.

Объектом исследования являлся монокристаллический кремний р-типа марки КДБ-20, выращенный методом Чохральского; характеристики: удельное сопротивление $\rho_{\Sigma} 18,7 \Omega \cdot \text{см}$, концентрация примеси дырок $9 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, подвижность дырок $367 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, концентрация кислорода $\approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Из слитков монокристалла кремния вырезали образцы в виде параллелепипеда с размерами $10 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$, большая плоскость ориентирована перпендикулярно кристаллографической с-оси. Поверхность перед измерениями шлифовали карборундовым порошком М10. Структурные характеристики и фазовый состав определяли на рентгеновском дифрактометре EmpyreanMalvern в геометрии пучка Брэгга –Брентано в диапазоне $2\theta =$ от 15° до 120° непрерывно со скоростью сканирования $0,33$ градуса/мин и угловым шагом $0,0200$ (град) по программе OriginPro2019. Обнаружено диффузное отражение в интервале углов по 2θ от 12° до 53° , обусловленное аморфными нанофазами. Поскольку поверхность пластин кремния соответствует кристаллографической ориентации (100), на рентгенограмме присутствуют селективные интенсивные рефлексы: (200) с $d/n = 0,2717$ ($2\theta = 32,97^\circ$), (400) $0,1357$ ($69,23^\circ$). Большая интенсивность ($1,82 \times 10^5 \text{ имп} \cdot \text{сек}^{-1}$) и узкая ширина ($\text{FWHM} = 2,73 \times 10^{-3}$ рад) дифракционного отражения (400) свидетельствуют о совершенстве кристаллической решетки кремния марки КДБ-20, поэтому этот рефлекс (400) использовали для определения параметра решетки образцов кремния $a_s = 0,3571 \text{ нм}$. Бета (β) составляющая (400) при угле рассеяния $2\theta = 61,75^\circ$. Однако присутствие на рентгенограмме структурных линий другими индексами (111), (220), (311), (331) и (531) с малой интенсивностью и сравнительно большой шириной по сравнению с (400)Si, указывает на наличие поликристаллических участков в приповерхностном объеме пластин кремния. По законам погасания, эти рефлексы не должны появляться на рентгенограмме от неискаженной решетки алмазоподобной структуры кремния. Запрещенные (200) и дополнительные (111), (220), (311), (331) и (531) отражения появляются при наличии искажений в решетке матрицы, вызванные термоупругими напряжениями, возникающие в технологических процессах при получения образцов и напряжений, связанные с неоднородным распределением один из основных фоновых примесей –кислорода в решетке кремния [3]. Характерные размеры субкристаллитов кремния, определялись из ширины рефлекса (400)Si по формуле Селякова-Шеррера и составили 94 нм .

В интервале углов по 2θ от 12° до 53° на рентгенограмме наблюдается широкое ($\text{FWHM} = 0,348$ рад) диффузное отражение, обусловленное структурными фрагментами SiOx в приповерхностных слоях с ненасыщенными химическими связями. Известно, что в монокристаллах кремния, выращенных по методу Чохральского, кислород может находиться не только в межузельном положении в виде квазимолекул Si-O-Si, но и в виде различных преципитатов SiOx, которые образуются в процессе выращивания слитка. Так, литературных данных было показано, что в некоторых выращенных кристаллах содержание кислорода в различных преципитатах может достигать 20 % от общей концентрации кислорода.

Таким образом, исследованные монокристаллические кремния имеют совершенную структуру с параметрами

решетки 0,54292 нм и субкристаллитами размерами 94 нм. В монокристаллах кремния, выращенных по методу Чохральского в областях примесно-дефектных скоплениях, происходит образования низкоразмерных дефектных состояний с участием кислорода.

Section

Energy and materials science (Section 2)

Primary authors: Mr RAFIKOV, Avaz (Researcher); Dr MAXMUDOV, Sherzod (Senior researcher)

Presenter: Dr MAXMUDOV, Sherzod (Senior researcher)

Track Classification: The V International Scientific Forum “Nuclear Science and Technologies”: Energy and materials science (Section 2)