

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА СВОЙСТВА КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Хуррамов Р.Р., Каюмов О.Н., Назиров Д.Э.
dnazirov2004@mail.ru
Национальный университет Узбекистана

В последнее время кремний (Si), легированный редкоземельными элементами (РЗЭ), привлекает все большее внимание исследователей как перспективный материал для оптоэлектроники. Это обуславливается перспективой применения Si<РЗЭ> структур в кремниевой оптоэлектронике в качестве источников света. Как известно, эффективность примесей РЗЭ в кремнии, проявление оптических свойств структур зависит как от спектра оптически и электрически активных центров, содержащих РЗЭ, их общей концентрации, так и их взаимодействием с неконтролируемыми примесями, а также с термическими дефектами в объеме материала.

Нной работе приводятся результаты исследований по влиянию самария (Sm), гадолиния (Gd), иттербия (Yb) и др. на термическое дефектообразование (ТД) кремнии. Исследования проводились с помощью нейтронно-активационного анализа (НАА), электропроводности, ИК-спектроскопии, изотермической релаксации емкости (ИРЕ), а также изучения распределения фото-э.д.с. Для изучения глубоких уровней (ГУ), расположенных в нижней половине запрещенной зоны *n*-Si, была применена оптическая перезарядка.

Исследовались образцы n -Si, легированные Sm, Gd, Yb и др. при выращивании по методу Чохральского, с $\rho=10\div 20$ Ом·см. Использовались также контрольные образцы кремния. Концентрации примесей исследуемых РЗЭ в кремнии составляли: $N_{\text{РЗЭ}}=5\cdot 10^{15}\div 5\cdot 10^{19}$ см⁻³. С помощью ИК-микроскопии в образцах выявлено образование дислокаций. Результаты электрических измерений показывают что Sm, Gd, Yb и др. в кремнии в исходном состоянии находятся в электрически неактивном состоянии. Исследования влияния термических обработок при $900\div 1200^{\circ}\text{C}$ в течении $1\div 2$ часов на воздухе и в откачанных ампулах с последующей закалкой или медленным охлаждением показывают, что преципитация кислорода происходит меньше в Si<РЗЭ>, чем в контрольных образцах. Изучение результатов ИРЕ показывает, что Sm, Gd, Yb и др в кремнии выступают при термических обработках в качестве геттера для неконтролируемых примесей и структурных дефектов.

Установлено, что концентрации ГУ $E_c-0,17$ эВ, $E_c-0,2$ эВ, $E_c-0,32$ эВ, $E_c-0,41$ эВ, $E_v+0,4$ эВ в образцах Si<РЗЭ> намного меньше, чем в контрольных образцах, прошедших соответствующие этапы термических обработок.

Термические обработки при 1173 К и более приводит к уменьшению концентрации ионизированных центров в образцах кремния, легированного примесями РЗЭ, от $3\cdot 10^{14}$ см⁻³ до $2,6\cdot 10^{14}$ см⁻³. Однако образование ГУ в запрещенной зоне кремния связанных с РЗЭ не обнаружено. При этом, их косвенное влияние распространялась на концентрацию большинства наблюдаемых ГУ. Следовательно, можно предположить, что РЗЭ Sm, Gd, Yb и др., образуют мелкий акцепторный уровень в нижней половине запрещенной зоны Si, что подтверждает их акцепторную природу.

В случае ТО образцов n -Si<РЗЭ> в откачанных кварцевых ампулах, в отличие от термически отожженных на воздухе, обнаруживаются все ГУ, наблюдаемые в образцах n -Si без РЗЭ (контрольных). Но их концентрация в n -Si<РЗЭ> обычно не превышает значений $\sim(2\div 3)\cdot 10^{13}$ см⁻³, за исключением центра с ГУ $E_v+0,4$ эВ, сечение захвата для электронов которого $\sigma_n\sim 10^{-14}$ см⁻², его концентрация в контрольных образцах достигает $(3\div 4)\cdot 10^{14}$ см⁻³, а в легированных РЗЭ кремнии $\sim 1\cdot 10^{14}$ см⁻³.

Как известно, этот донорный ГУ связывают с Fe. Таким образом, следует отметить, что РЗЭ: Sm, Gd, Yb и др. подавляют образование как ГУ связанного с быстродиффундирующими неконтролируемыми примесями золота, так и железа, как и других термических центров с уровнями $E_c-0,17$ эВ и $E_c-0,4$ эВ значения концентрации которых зависит как от температуры обработок, так и от наличия РЗЭ в кремнии.

Установлено, что РЗЭ Sm, Gd, Yb и др. в кремнии уменьшают концентрацию ТЦ в $2\div 4$ раза. Т.о., наличие в Sm, Gd, Yb и др. в Si приводит к подавлению высокотемпературных ТД. Результаты измерений $\tau_{\text{нпз}}$ показывают, что наличие всех этих РЗЭ приводит к повышению стойкости образцов к ТО, и тем самым повышая их значения $\tau_{\text{нпз}}$ относительно контрольных, в $3\div 5$ раз.

Подавление ТД может быть обусловлено очищением объема кремния от неконтролируемых примесей - их геттерированием примесями РЗЭ или образованием комплексов "РЗЭ+дефект" акцепторной природы, так и активным взаимодействием РЗЭ с кислородом в кремнии.

Результаты исследований ИК-поглощения в Si<РЗЭ> показывают, что эффективное

взаимодействие РЗЭ с кислородом в кремнии начинается с концентраций $N_{\text{РЗЭ}} \geq 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, что возможно указывает на наличие в объеме кремния включений второй фазы РЗЭ, а также силицидов РЗЭ, действующие как стоки для неконтролируемых и технологических примесей.