

## ДЕФЕКТНАЯ СТРУКТУРА КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЬЮ ВОЛЬФРАМА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Ш.Х. Далиев, А.Д. Палуанова, Ж.А. Эргашев, А. Рахимов

*НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз,  
Ташкент, Узбекистан  
e-mail: [shakhrukhd@mail.ru](mailto:shakhrukhd@mail.ru)*

**Аннотация.** Методами ИК-поглощения и рентгеновской топографии изучено влияние внешних факторов на дефектную структуру кремния, легированного вольфрамом. Обнаружена корреляция между уменьшением концентрации междоузельного оптически активного кислорода и глубоких уровней, связанных с атомами вольфрама с изменением размеров крупных скоплений дефектных частиц различной формы в Si<W> при отжиге.

**Ключевые слова:** кремний, вольфрам, кислород, отжиг, глубокий уровень, энергия ионизации, изотермический отжиг.

## DEFECT STRUCTURE OF SILICON WITH AN IMPURITY OF TUNGSTEN UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS

Shakhruh Daliev, Anifa Paluanova, Javohir Ergashev,  
Abdulla Rakhimov.

*Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUZ,  
Tashkent, Uzbekistan  
e-mail: [shakhrukhd@mail.ru](mailto:shakhrukhd@mail.ru)*

**Abstract.** The influence of external factors on the defective structure of silicon doped with tungsten has been studied using IR absorption and x-ray topography. A correlation was found between a decrease in the concentration of interstitial optically active oxygen and deep levels associated with tungsten atoms with a change in the size of large clusters of defective particles of various shapes in Si<W> during annealing.

**Keywords:** silicon, tungsten, oxygen, annealing, deep level, ionization energy, isothermal annealing

В последнее время в микроэлектронике стали активно применяться туго-плавкие металлы и их силициды, что обусловлено рядом их термодинамических особенностей, перспективными электрофизическими свойствами, стабильностью при высоких температурах [1-2]. Известно, что процесс изготовления полупроводниковых приборов включает различные циклы термической обработки. Кроме того, процесс эксплуатации полупроводниковых приборов зачастую сопровождается их нагревом до 100<sup>0</sup>С, а иногда до 400<sup>0</sup>С [3].

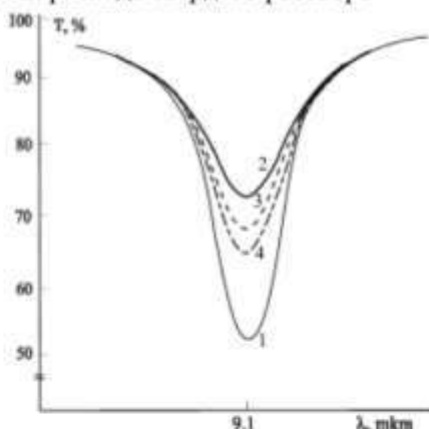
В связи с этим представляет интерес изучение влияния различных внешних факторов на дефектную структуру Si со специально введенными примесями тугоплавких элементов (ТПЭ).

В работе [4] ранее нами было обнаружено, что в верхней половине запрещенной зоны  $\text{Si}\langle\text{W}\rangle$ , образуются 3 глубоких уровня (ГУ) с фиксированными энергиями ионизации:  $E_c-0.22$  эВ,  $E_c-0.30$  эВ и  $E_c-0.39$  эВ, а в нижней – 2 ГУ с энергиями ионизации  $E_v+0.31$  эВ и  $E_v+0.35$  эВ. Было также установлено, что при изотермическом отжиге концентрации  $N_i$  ГУ  $E_c-0.30$  эВ и  $E_c-0.39$  эВ изменяются немонотонно со временем отжига: концентрации обоих ГУ при малых временах возрастают, затем концентрация уровня  $E_c-0.30$  эВ резко падает, а уменьшение концентрации ГУ  $E_c-0.39$  эВ происходит значительно медленнее. Изменение концентрации  $E_c-0.22$  эВ, который наблюдается также и в контрольных образцах (без W), противоположно изменению концентрации уровней W в Si.

В данной работе изучено влияние низкотемпературного отжига (НТО) на состояние дефектной структуры в Si, легированном вольфрамом. Изотермический отжиг производился в интервале температур  $150\div 400^\circ\text{C}$  на воздухе с последующим охлаждением образцов в воде.

Сопоставление кинетики отжига ГУ в  $\text{Si}\langle\text{W}\rangle$  с изменением содержания технологической примеси (кислорода) в кремнии после НТО показывает, что начальный рост концентрации ГУ происходит синхронно с увеличением концентрации междоузельного оптически активного кислорода (рис.1) при изотермическом отжиге в течение 10 мин. (кривая 3), при дальнейшем отжиге в течение 30 минут концентрации и ГУ, и междоузельного оптически активного кислорода уменьшаются.

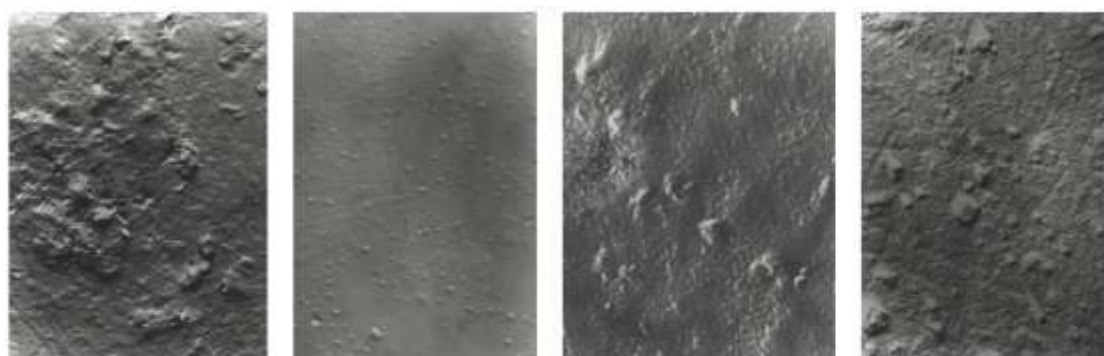
Полученные выше результаты подтверждают сделанное в работе [4] предположение о роли атомов кислорода в процессах распада твердого раствора



**Рис.1. Спектры ИК-поглощения в контрольных образцах  $n\text{-Si}$  и образцах  $n\text{-Si}\langle\text{W}\rangle$ , подвергнутых изотермическому отжигу при  $250^\circ\text{C}$ : 1 - исходный (контрольный) Si, 2 -  $T_{\text{диф}}$  при  $1200^\circ\text{C}$ , 3 - 10 мин., 4 - 30 мин., отжиг при  $250^\circ\text{C}$**

кремний-вольфрам. Анализ спектров DLTS и ИК-поглощения показывает, что наблюдается хорошая корреляция между поведением уровней вольфрама и кислорода при отжиге.

Рентгеноструктурные исследования образцов  $\text{Si}\langle\text{W}\rangle$  показали, что после диффузии примесей ТПЭ на рентгенограммах наблюдаются крупные скопления различной формы (рис.2, а).



*а* -  $T_{\text{диф}}$  при  
 $1200^{\circ}\text{C}$ ,

*б* - отжиг при  
 $250^{\circ}\text{C}$ , 10 мин.

*в* - отжиг при  
 $250^{\circ}\text{C}$ , 30 мин.

*г* - отжиг при  
 $250^{\circ}\text{C}$ , 60 мин.

**Рис.2. Рентгеновские фотографии в образцах  $n\text{-Si}\langle\text{W}\rangle$**

После изотермического отжига при  $250^{\circ}\text{C}$ , 10 мин. наблюдается распад больших скоплений на более мелкие (рис.2, б). При дальнейшем отжиге образцов в течение 30 мин. мелкие скопления собираются в более крупные образования (рис.2, в). Полный отжиг ГУ, обусловленных примесями ТПЭ, сопровождается образованием крупных скоплений (рис.2, г). При этом концентрация междоузельного оптически активного кислорода возвращается к исходному значению (до легирования W).

Таким образом, корреляция между уменьшением концентрации междоузельного оптически активного кислорода и глубоким уровнем, связанных с атомами вольфрама с изменением размеров крупных скоплений дефектных частиц различной формы в  $\text{Si}\langle\text{W}\rangle$  при отжиге, свидетельствует о сложном характере взаимодействия атомов тугоплавких элементов с неконтролируемыми технологическими примесями и дефектами структуры кремния.

### References

1. Vyvenko O.F., Sachdeva R. et al, Study of diffusivity and electrical properties of Zr and Hf in silicon, in Semiconductor Silicon-2002. 2002, The Electrochemical Society: Pennington. p. 410-451.
2. Codegoni D., Polignano M.L., Caputo D., Riva A. et.al. Molybdenum Contamination in Silicon: Detection and Impact on Device Performances. Solid State Phenomena Vols. 145-146 (2009) pp 123-126.
3. Gerasimenko N.N. Kremnij - material nano'elektroniki. M.: Tehnosfera, 2007. - S.351.
4. Daliev Sh.H., Mamadalimov A.T., Nasriddinov S.S., Paluanova A.D., Bekmuratov M.B. Vliyaniye termoobrabotki na povedeniye glubokih urovnej v kremnii, legirovannom vol'framom. Fizika poluprovodnikov i mikro'elektronika. 1 (01) 2019, s.23-26.





