

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ В КРЕМНИИ

А.В. Тебеньков

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина
Институт естественных наук и математики
620002, Екатеринбург, Россия
E-mail: av.tebenkov@urfu.ru*

PHASE TRANSITIONS AND CONDUCTIVITY RELAXATION TIME IN SILICON

A.V. Teben'kov

*Ural Federal University n.a. B.N. Yeltsin, Institute of Natural Sciences and Mathematics,
Yekaterinburg, 620002 Russia
Институт естественных наук и математики
620002, Екатеринбург, Россия
E-mail: av.tebenkov@urfu.ru*

Показано, что в кремнии вблизи индуцированных высоким давлением фазовых переходов время релаксации проводимости резко возрастает, что свидетельствует о нестабильности кристаллической решетки вблизи структурных переходов.

It was shown that in silicon near phase transitions induced by high pressure the conduction relaxation time sharply increases, which indicates the instability of the crystal lattice near structural transitions.

При измерениях электропроводности материалов в условиях высоких давлений обнаружено, что для получения достоверных данных необходимо выдерживать образец под давлением в течение некоторого времени. В этой работе приведены данные о релаксации проводимости кремния вблизи инициированных давлением фазовых переходов. Кремний очень хорошо изучен и имеет два фазовых перехода первого рода в диапазоне давлений от 20 до 50 ГПа [1-4].

Для исследований использовали камеру высокого давления с алмазными наковальнями типа «закругленный конус-плоскость», особенности применения которой описаны, например, в [5].

В ходе эксперимента измеряли зависимости электросопротивления образца от времени при фиксированном давлении (длительность выдержки от 30 до 120 минут).

Вдали от давлений фазовых переходов электросопротивление со временем меняется по закону, хорошо описываемому экспонентой:

$$\eta(t) = a_f \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_f}\right) + a_s \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_s}\right) + \eta_e.$$

При приближении к давлению фазового перехода наблюдается увеличение флуктуаций и случайных выбросов в измеряемом электросопротивлении. И в некоторой окрестности перехода кинетику релаксации уже нельзя описать экспоненциальными зависимостями. Полученные зависимости продемонстрированы на рисунках 1 и 2.

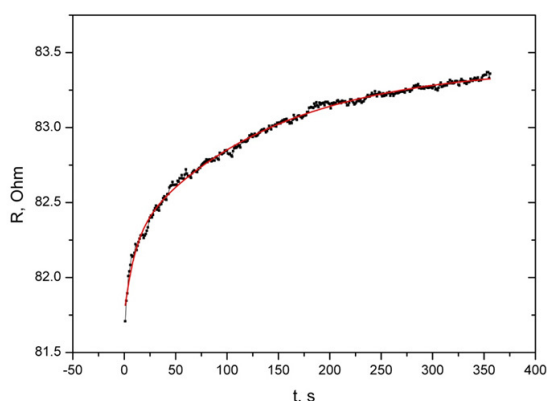


Рис. 1 - Зависимость электросопротивления кремния от времени при давлении 40 ГПа (вдали от фазового перехода)

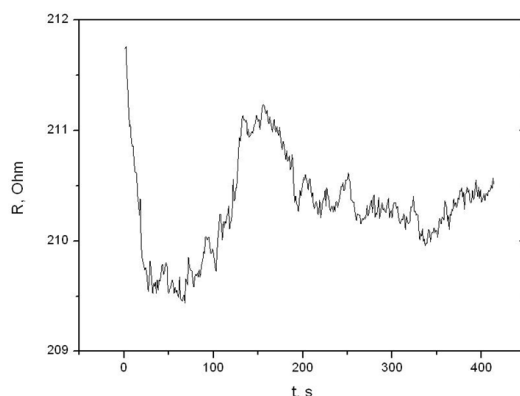


Рис. 2 - Зависимость сопротивления кремния от времени при давлении 34 ГПа (в точке фазового перехода)

По полученным результатам из графиков были определены времена релаксаций для каждого давления, результат показан на рисунке 3. На нем же указаны пунктиром границы существования фаз высоких давлений согласно [1, 2].

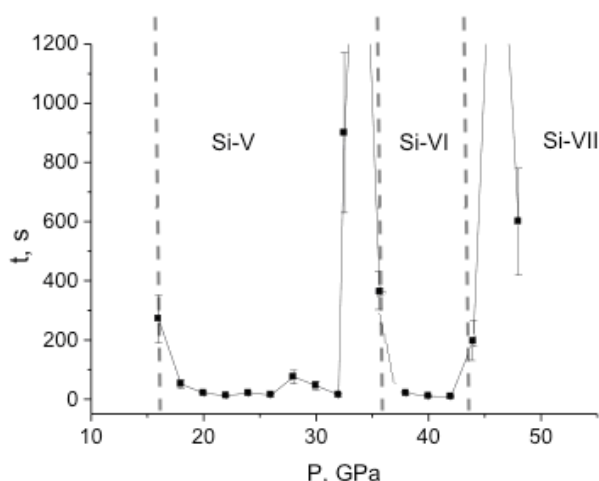


Рис. 3 - Зависимость времени релаксации электросопротивления кремния от давления. Пунктирами обозначены границы существования фаз высоких давлений согласно [1, 2]

В двух точках, при давлениях 34 ГПа и 46 ГПа время релаксации определить не удалось из-за нестабильности показаний приборов вблизи фазового перехода (рис.2). Эти области флуктуаций коррелируют с литературными данными о давлениях переходов с допустимой погрешностью. Соответственно, области с низкими временами релаксации соответствуют областям стабильного кристаллического состояния. С 16 до 32 ГПа это простая гексагональная структура Si-V, с 36 до 42 ГПа – изоструктурный тип Cs V Si-VI, и при давлении выше 48 ГПа – гексагональная плотноупакованная Si-VII. Области структурных превращений имеют протяженность около 2 ГПа.

Для данного образца проводилась серия экспериментов с различной величиной пропускаемого тока от 50 мкА до 0.1 мА. Изменение силы тока не приводило к изменению получаемых результатов. Аналогичные результаты были получены нами в работе [6] в

сравнении с другими методами исследований. Таким образом, данная методика отслеживания кинетики релаксации электрических характеристик может использоваться для определения давлений, в которых происходят структурные изменения в веществе.

Список использованных источников:

1. *Hanfland M., Schwarz U., Syassen K., Takemura K.* Crystal Structure of the High-Pressure Phase Silicon VI // *Phys. Rev. Lett. American Physical Society*, – 1999. – Vol. 82, № 6. – P. 1197–1200.
2. *Duclos S.J., Yogesh K., Arthur L. Ruoff* Experimental study of the crystal stability and equation of state of Si to 248 GPa // *Phys. Rev. B.* – 1990. – Vol. 41, № 17. – P. 12021–12028.
3. *Hu J.Z., Larry D., Carmen S. Menoni, L.* Crystal data for high-pressure phases of silicon // *Phys. Rev. B.* – 1986. – Vol. 34, № 7. – P. 4679–4684.
4. *Olijnyk H., Sikka S.K., Holzapfel W.B.* Structural phase transitions in Si and Ge under pressures up to 50 GPa // *Phys. Lett. A. North-Holland*, – 1984. – Vol. 103, № 3. – P. 137–140.
5. *Tikhomirova, G. V., Teben'Kov, A. V., Volkova, Y. Y., & Babushkin, A. N.* (2012) // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2012, 76(3), 342-344.
6. *Melnikova N. V., Tebenkov A. V., Suhanova G. V., Ustinova I. S., et al.* Pressure dependences of electroresistance, magnetoresistance, and the thermoelectromotive force in CuInSe₂ and CuInS₂ // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* – 2014. – Vol. 78, № 4. – P. 299–303.