

# Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

G. G. Gnesin, G. S. Oleinik, L. N. Okhremchuk,  
I. A. Podchernyaeva, V. S. Fomenko, The work  
function of polycrystalline silicon carbide, *TVT*, 1970,  
Volume 8, Issue 3, 663–665

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you  
have read and agreed to these terms of use

<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.14.89

January 22, 2025, 00:44:54



УДК 536.7:661.665.1

**РАБОТА ВЫХОДА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ**

*Г. Г. Гнесин, Г. С. Олейник, Л. Н. Охремчук, И. А. Подчерняева,  
В. С. Фоменко*

За последнее десятилетие все большее внимание привлекают монокристаллы SiC с точки зрения использования их в полупроводниковой технике [1, 2]. Реализация некоторых электрических и полупроводниковых свойств, присущих монокристаллам SiC, возможна в поликристаллических материалах на основе карбида кремния. Однако известные карбидокремниевые материалы представляют собой, как правило, многофазные пористые композиции, в которых отдельные кристаллиты SiC цемен-

тированы кремнеземистыми, глиноземистыми, нитридокремневыми и другими связками, резко отличающимися по своим свойствам от основной фазы. В такого рода материалах свойства определяются в основном наличием связей и пористости.

Наиболее полно реализуются специфические свойства карбида кремния в беспористом поликристаллическом материале, получаемом методом реакционного спекания [3, 4]. В таком материале карбид кремния образует непрерывную фазу, содержание которой может достигать 96—98%, остальное составляет в основном кремний. Микроструктура такого материала представлена на рис. 1.

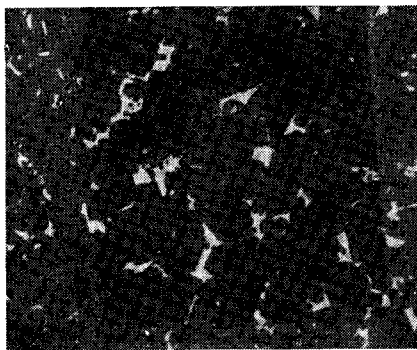


Рис. 1. Микроструктура поликристаллического SiC ( $\times 200$ )

В данной работе приведены результаты исследования температурной зависимости работы выхода при термоэлектронной эмиссии, необходимые при оценке беспористого поликристаллического карбида кремния как материала, перспективного для использования в некоторых устройствах прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Измерение работы выхода SiC проводилось методом термоэмиссии и методом контактной разности потенциалов (КРП). Для сравнения методом КРП определена работа выхода грани 0001 монокристалла SiC.

Термоэмиссионные свойства изучались на образцах в форме дисков толщиной 0,8 и диаметром 6 мм на установке с электронным разогревом [5]. Давление остаточных газов в процессе измерения составляло  $10^{-6}$  мм рт. ст. Для определения истинной температуры катода использовались полученные ранее данные по монокристаллической степени черноты [6], согласно которым в диапазоне 1100—1500°С  $\epsilon_{\lambda, 655} = 0,68$ .

Температурная область измерения эффективной работы выхода составляла 1500—2100°К, относительная точность измерения 4%. Результаты представлены на рис. 2 и 3. Кривая 1 на рис. 2 представляет изменение работы выхода при первоначальном прогреве образца в процессе его обезгаживания. Следует отметить плохую воспроизводимость кривой 1 для разных образцов, что может быть связано с влиянием таких факторов, как дегазация образца, частичная сублимация кремния, а также SiO<sub>2</sub>, неизбежно присутствующей на поверхности карбида [7]. Однако общий ход кривой 1 и температуры изменения знака  $d\phi/dT$  остаются неизменными во всех случаях.

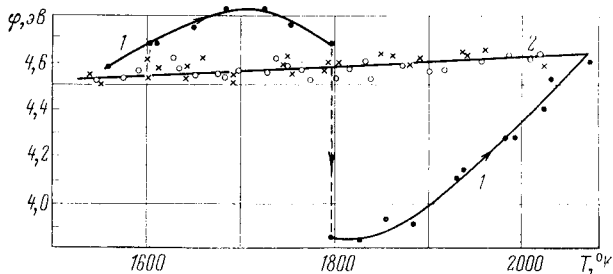


Рис. 2. Температурная зависимость работы выхода поликристаллического SiC:

1 — в процессе обезгаживания; 2 — стабильное состояние эмиссии

Обращает на себя внимание уменьшение  $\phi_{эф}$  во времени (рис. 2 и 3) до минимального значения 3,85 эв в районе температуры 1800°К. Дальнейший прогрев катода до температуры 2100°К приводит к установлению стабильного состояния эмиссии, хорошо воспроизводимого при повторных циклах нагрева и охлаждения образца и характеризуемого кривой 2, аналитическое выражение которой имеет вид

$$\phi_T = 4,37 + 1,2 \cdot 10^{-4} T. \quad (1)$$

Из рис. 2, видно, что температура, при которой начинается снижение  $\phi_{эф}$  на кривой 1, близка к температуре плавления кремния, составляющей, по данным [8], ~1700°К. Известно [9, 10], что кремний, так же как и германий, при переходе из твердого вещества в жидкость приобретает металлический характер проводимости,

обусловленный разрушением прочных  $sp^3$ -гибридных связей и соответствующим переходом всех четырех валентных электронов в зону проводимости. Это может служить причиной резкого спада работы выхода на кривой 1 (рис. 2). А поскольку для элементов с ковалентными структурами, к которым относится кремний, переход к металлическому состоянию при плавлении наблюдается обычно в более или менее широком интервале температур (порядка  $50^\circ$ ) и разрушение ковалентных связей достигается лишь при более или менее значительном перегреве жидкости [10], становится понятной растянутость температурного интервала отмеченного снижения работы выхода ( $1720\text{--}1790^\circ\text{K}$ ).

По-видимому, при температуре порядка  $1800^\circ\text{K}$  происходит растекание расплавленного структурно-свободного кремния по поверхности SiC, благодаря хорошей смачиваемости, и образование сравнительно тонкой пленки на поверхности, что отражается на зависимости изменения работы выхода от времени (рис. 3). При температурах выше  $1800^\circ\text{K}$  наблюдается рост работы выхода, связанный с испарением кремния с поверхности SiC, и дальнейшие измерения во всем исследованном интервале температур показали неизменность работы выхода во времени, что свидетельствует о стабильности состояния поверхности, уже очищенной от кремния.

Для определения  $\phi$  методом КРП снимались вольт-амперные характеристики лампы с вольфрамовым катодом и анодами из поли- или монокристаллического SiC. Измерение проводилось методом тока насыщения при отсутствии заметного влияния пространственного заряда. Давление остаточных газов составляло  $\sim 10^{-9}$  мм рт. ст. Для исключения влияния падения напряжения вдоль нити катода осуществлялась коммутация постоянного напряжения.

Определенная таким способом работа выхода поликристаллического SiC оказалась равной  $4,40\text{ эв}$ , что согласуется со значением  $\phi_{298^\circ\text{K}} = 4,41\text{ эв}$ , полученным из зависимости (1) для того же образца методом термоэмиссии.

Как следует из экспериментальных данных, различие вакуумных условий при измерениях не сказалось существенно на полученных результатах: измерения  $\phi$  методом термоэмиссии производились при высоких температурах, что обеспечило чистоту исследуемой поверхности в относительно низком вакууме ( $10^{-6}$  мм рт. ст.), а методом КРП — при комнатной температуре на образцах, предварительно подвергнутых тщательной температурной обработке.

Работа выхода грани 0001 монокристалла SiC  $n$ -типа, выращенного по методу Лели, с концентрацией примеси  $(1 \div 5) \cdot 10^{18}\text{ см}^{-3}$ , оказалась равной  $4,30\text{ эв}$ . Эта величина совпадает, в пределах точности эксперимента, с данными [11], в которых  $\phi$  той же грани монокристалла SiC, также определенная методом КРП, составляла  $4,32\text{ эв}$ .

Вследствие большой величины работы выхода карбида кремния можно ожидать и эффективной поверхностной ионизации адсорбированных атомов металлов, особенно щелочных и щелочноземельных, что в сочетании с другими физическими характеристиками этого соединения существенно при использовании его в качестве электродного материала различных устройств прямого преобразования энергии.

В заключение авторы выражают благодарность сотруднику Института физики АН УССР В. К. Медведеву за помощь в проведении экспериментов по измерению работы выхода методом КРП.

Институт проблем материаловедения  
Академии наук УССР

Поступило в редакцию  
23 VI 1969

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Silicon Carbide — a High Temperature Semiconductor, Pergamon Press, London — New York, 1960.
2. С. А. Добролеж и др., Сб. Карбид кремния. Гостехиздат, Киев, 1963.
3. И. Н. Францевич и др. Авт. свид., 176070. Бюл. изобретений, № 21, 1965.
4. И. Н. Францевич и др. Сб. Карбид кремния. «Наукова думка», Киев, 1966; стр. 129.
5. Ю. К. Лапшов, И. А. Подчерняева, Г. В. Самсонов, В. П. Терехов, В. С. Фоменко. Порошковая металлургия, № 1, 68, 1968.
6. Г. В. Самсонов, В. С. Фоменко, Ю. Б. Падерно. Огнеупоры, № 1, 40, 1962.
7. S. Clark, P. Holt. J. Chem. Soc., 12, 5007, 1957.
8. А. С. Березной и. Кремний и его бинарные сплавы. Изд-во АН УССР, Киев, 1958.
9. Н. П. Мокровский, А. Р. Регель. Ж. техн. физ., 23, 779, 1953.
10. В. М. Глазов, С. Н. Чижевская. Неорган. материалы, 1, 307, 1965.
11. J. A. Dillon, R. E. Schlier, H. E. Farnsworth. J. Appl. Phys., 30, 675, 1959

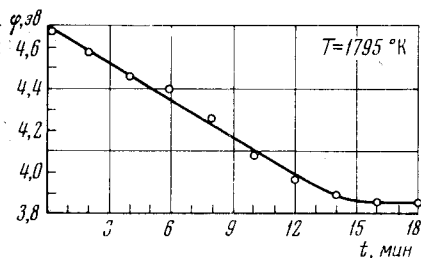


Рис. 3. Зависимость работы выхода поликристаллического SiC от времени при температуре  $1795^\circ\text{K}$