

Имеет ли силицен будущее?

Студенты группы 10405520 Монжос Ю.С., Стасенко А.С.

Научный руководитель - Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В течение последнего десятилетия наблюдается значительный интерес исследователей к использованию двумерных материалов для реализации электронных устройств. Основной движущей силой являются улучшение характеристики, предлагаемые этими 2D-материалами для работы электронных устройств в наномасштабном режиме. Среди этих материалов силицен (2D-кремний) стал предпочтительным выбором из-за его ожидаемой интеграции с технологией на основе кремния. Интеграция силицена с кремниевой технологией является одним из основных преимуществ силицена как материала для будущих электронных устройств при наличии инфраструктуры получения и обработки объемного кремния.

Ряд преимуществ заставляют оценивать силицен по перспективности в электронике на уровне графена. Какие это преимущества, об этом частично проанализировано в настоящей статье. Во-первых, силицен, что очень важно, в своей основной форме является проводником, поскольку образует нулевую запрещенную зону проводимости. К слову, в зарубежной литературе описано несколько методов формирования запрещенной зоны в силицене. Именно поэтому силицен используется при создании ряда электронных устройств: от транзисторов до фотодетекторов. Во-вторых, уникальные упруго-пластические свойства силицена [1-2]. Известно, что механические свойства имеют решающее значение для понимания надежности, прочности и конструкции изделий. В литературе отмечается, что упругие постоянные второго порядка и упругие постоянные третьего порядка для силицена получены с использованием метода гомогенной деформации. Эти константы применимы для описания нелинейной и линейной упругости силицена и используются для определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона [3]. В третьих, низкий коэффициент теплопроводности в сравнении, например, с графеном, что кардинально отличает такой материал и создает дополнительные признаки уникальности. Как отмечают исследователи, именно по этой причине полупроводники в составе электронных и оптоэлектронных устройств из него обладают высокой надежностью и производительностью [4].

Приведенные расчеты теплопроводности в зарубежной литературе основаны на теоретическом моделировании с использованием потенциала Терсоффа [5-6] и потенциала Стиллингера-Вебера [7]. Что касается значений, то при комнатной температуре и при использовании вышеуказанных методов расчета теплопроводности составила 3-25 Вт/м·К [5-8].

Одним из важнейших свойств силицена является электропроводность. Скорость Ферми носителей в силицене в общем виде, что отражено в литературе, можно оценить из линейной дисперсии характеристических π полос вблизи уровня Ферми путем линейной подгонки волнового вектора (K) и пренебрежения членами второго и более высокого порядка:

$$v_f = \frac{1}{h} \frac{dE}{dK},$$

где E – модуль Юнга;

h – высота профиля атомной плоскости с учетом изгиба.

Согласно традиционным расчетам, скорость составляет около $5 \cdot 10^5$ м·с⁻¹, что меньше, чем у графена ($8,29 \cdot 10^5$ м·с⁻¹), но не на много.

В завершении отметим применение силицена. Что на данный момент реализовано с точки зрения производства? В настоящее время силицен используются в различных транзисторах, а именно, в силиценовом полевом транзисторе с двойным затвором, в силиценовом полевом транзисторе с адсорбцией щелочи, в силиценовом полевом транзисторе с наносеткой,

в наносеночном полевом транзисторе, в силициновом полевом транзисторе с совместной декорацией Li-Si и т.д. Что особо интересно, это попытки использовать силицен для элементов питания (аккумуляторы), но пока промышленных образцов не получено [8-9].

Выводы. Исходя из проведенного анализа можно сказать, что силицен один из перспективных материалов будущего, но период научно-исследовательских и опытных работ действительно очень продолжительный. Отмечено, что силицен похож по электропроводности на графен, но в отличие от него силицен имеет относительно низкую теплопроводность и в этом его уникальность. Предполагается, что после перехода на промышленное производство материал будет эффективно заменять существующие и его потенциал раскроется максимально.

Список использованных источников

1. Changgu Lee X. W. Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene / X. W. Changgu Lee, Jeffrey W. Kysar, James Hone // *Science*, №321. – 2008. – p. 385.
2. Peng Q. Mechanical stabilities of silicene / Q. Peng, X. Wen, S. De // *RSC Adv.*, №3. – 2013. – p. 13772.
3. Zhao J. Rise of silicene: a competitive 2d material / J. Zhao et al. // *Prog. Mater Sci.*, №83. – 2016. – p. 24.
4. Pei Q. X. Effects of temperature and strain rate on the mechanical properties of silicone / Q. X. Pei, Z. D. Sha, Y. Y. Zhang, Y. W. Zhang // *J. Appl. Phys.*, №115. – 2014. – p. 023519(1).
5. Liu B. Thermal conductivity of silicene nanosheets and the effect of isotopic doping / B. Liu, C. D. Reddy, J. Jiang, H. Zhu, J. A. Baimova, S. V. Dmitriev, K. Zhou // *J. Phys. D: Appl. Phys.*, №47. – 2014. – p. 165301(1).
6. Ng T. Y. Molecular dynamics simulation of the thermal conductivity of shorts strips of graphene and silicene: a comparative study / T. Y. Ng, J. Yeo, Z. Liu // *Int. J. Mech. Mater. Des.*, №115. – 2013.
7. Zhang X. Thermal conductivity of silicene calculated using an optimized / X. Zhang, H. Xie, M. Hu, H. Bao, S. Yue, G. Qin, G. Su // *Stillinger–Weber potential Physical Review B*, №89. – 2014. – p. 054310(1).
8. Zhao, Y. C. Spin-semiconducting properties in silicene nanoribbons / Y. C. Zhao, J. Ni // *Phys. Chem. Chem. Phys.*, №16. – 2014. – p. 15477.
9. Malik G. F. A. Spin field effect transistors and their applications / G. F. A. Malik, M. A. Kharadi, F. A. Khanday, N. Parveen // *A survey Microelectron. J.*, №106. – 2020. – p. 104924.