

## **КРИОГЕННЫЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ, УСТОЙЧИВЫЕ К ВЛИЯНИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Ю. М. Шварц, М. М. Шварц, А. Н. Иващенко, И.В. Дикая, И. П. Жарков\*, В. В. Сафронов\*

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины

\*Институт физики НАН Украины

Развитие науки и техники стимулирует разработку полупроводниковых датчиков, предназначенных для измерения температуры в условиях комбинированного воздействия внешних факторов - низких и высоких температур, магнитных полей, механических и термических ударов, вибрации и т. д. [1]. Расширение областей применения требует улучшения метрологических, конструкционных и эксплуатационных характеристик температурных датчиков, что, в свою очередь, приводит к необходимости разработки новых технологий термочувствительных элементов, устройств и систем для проведения комплексных испытаний датчиков.

В современной криогенной термометрии широко используются датчики на основе кремниевых диодов, к числу достоинств которых относятся стабильность, высокая температурная чувствительность, высокий уровень выходного сигнала, а также взаимозаменяемость, миниатюрность, хорошая совместимость с вторичной электронной аппаратурой, многообразие вариантов их конструктивного исполнения.

В тоже время при проведении низкотемпературных измерений в условиях влияния магнитного поля наблюдается существенное влияние магнитного поля на показания диодных термометров. По данным фирм-изготовителей [2-4] высокая чувствительность кремниевых диодов к магнитному полю в области гелиевых температур делает невозможным их использование при низких и сверхнизких температурах в магнитных полях. Погрешность измерения существенно зависит как от величины магнитного поля, так и от ориентации датчика в нем. Так, для термодиодов производства фирмы Lake Shore Cryotronics, Inc. (США) в магнитном поле величиной 1 Т погрешность измерения температуры в зависимости от ориентации датчика по отношению к магнитному полю составляет от 0.35 до 8.4 К и возрастает с ростом величины поля (таблица 1). Поэтому разработка нового класса диодных термометров, устойчивых к влиянию магнитного поля, является актуальной задачей для низкотемпературной полупроводниковой термометрии.

Таблица 1.

Относительная погрешность измерения температуры  $\Delta T/T$  (%) для кремниевого термодиода DT-670 фирмы LSCI. (США), вызванная влиянием магнитного поля с индукцией  $B$ , при  $T=4.2$  К [4].

1 Т	2 Т	3 Т
<i>p-n</i> -переход параллелен полю $B$		
-200	-300	-350
<i>p-n</i> -переход перпендикулярен полю $B$		
-8	-9	-11

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния магнитного поля на разработанные нами кремниевые термодиоды в диапазоне гелиевых температур. Термочувствительным элементом исследуемых датчиков служит миниатюрный кремниевый чип с *p-n*-переходом. Чип с размерами  $400 \times 400 \times 200$  мкм<sup>3</sup> помещен в металлокерамический корпус, имеющий форму параллелепипеда с размерами  $1 \times 2 \times 3$  мм<sup>3</sup>. Крышка корпуса и выводы выполнены из немагнитного сплава. Выводы имеют длину 1 см.

Калибровка датчиков проведена в диапазоне 4.2-373 К на автоматизированной установке для градуировки диодных датчиков типа УГТ-А. Точность поддержания рабочего тока 10 мкА равна  $\pm 0.05$  %; погрешность измерения  $\pm 0.05$  К. Погрешность стабилизации температуры  $\pm 0.01$  К.

Особенностью разработанных термодиодов является квазилинейность термометрической характеристики (рис. 1).

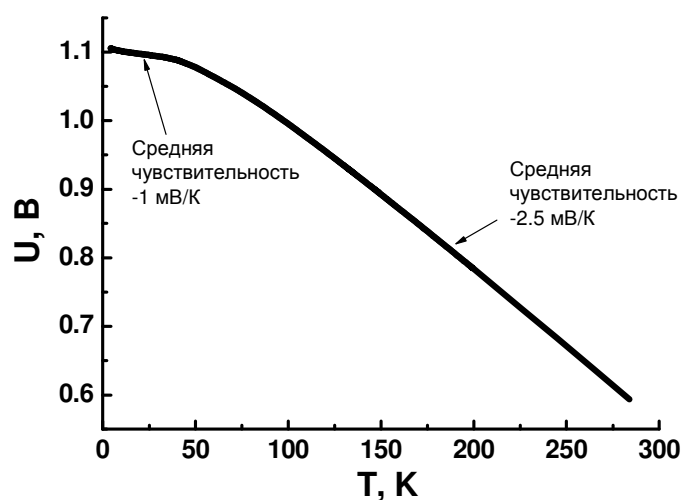


Рис. 1. Термометрическая характеристика криогенного кремниевого термодиода. Рабочий ток 10 мкА.

Линеаризация температурной зависимости падения напряжения  $U(T)$  на диоде при пропускании через него постоянного прямого тока обеспечивается доминированием туннельной компоненты в диодном токе при низких температурах и прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка по системе «металлических капель» (или «озер») области гелиевых температур, характерной для сильно легированных и сильно компенсированных макроскопически однородных полупроводников [5].

Для исследования влияния магнитного поля на показания датчика использована криостатная система со сверхпроводящим магнитом. Датчик фиксировали на немагнитном держателе и при вращении манипулятора изменяли ориентацию нормали к поверхности датчика по отношению к вектору индукции магнитного поля. Через датчик пропускали постоянный прямой ток величиной 10 мкА и измеряли падение напряжения на датчике в магнитном поле при разной его ориентации относительно поля. Результаты измерений показаны на рис. 2.

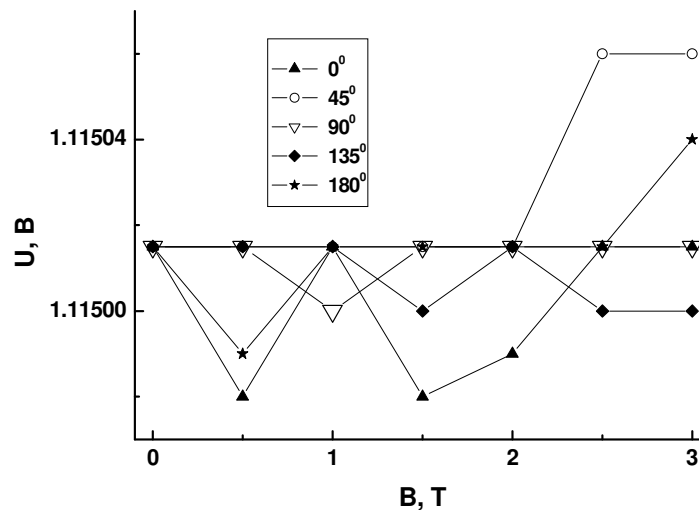


Рис. 2. Магнитополевая зависимость падения напряжения  $U$  на термодиоде при разной ориентации индукции магнитного поля относительно вектора нормали к поверхности датчика. Рабочий ток 10 мкА.  $T = 4.2$  К.

Погрешность измерения, вызванную влиянием магнитного поля, определяли как отношение  $\Delta T/T$ , где  $\Delta T = \Delta U / (dU/dT)$ ,  $\Delta U = U_B - U$  – изменение прямого падения напряжения в магнитном поле с индукцией  $B$ ,  $dU/dT$  – температурная чувствительность,  $T$  – температура, измеренная при  $B=0$ . Из представленных на рис. 3 данных видно, что погрешность измерения не превышает 2-3 %.

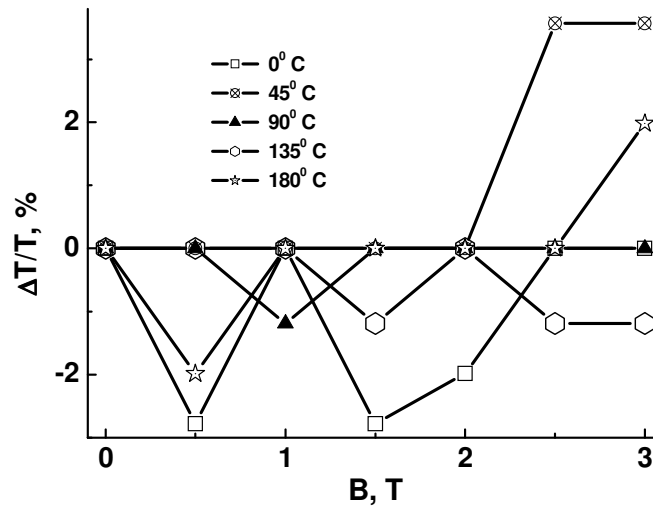


Рис. 3. Температурная погрешность измерения  $\Delta T/T$ , вызванная влиянием магнитного поля разной ориентации относительно нормали к поверхности датчика.  $T=4.2$  К.

Таким образом, проведенные испытания позволили заключить, что в пределах использованных магнитных полей до 3 Т характеристики датчика остаются устойчивыми, и погрешность измерения, независимо от ориентации датчика в магнитном поле, не превышает 0.1 К.

*Список литературы:*

1. Шварц Ю. М. Физические основы полупроводниковых приборов экстремальной электроники: 01.04.10. - Дис... д-ра физ.-мат. наук. - К., 2004. – 342 с.
2. Scientific Instruments, Inc., West Palm Beach, FL, 33407, USA, <http://www.sci-inst.com>.
3. Cryogenic Control System, Inc., Rancho Santa Fe, CA, 92067, USA, <http://www.cryocon.com>.
4. Temperature Measurement and Control Catalog. Cryogenic Sensors, Instruments, and Accessories // Product and Reference Guide.- Westerville, Ohio (USA): Published by Lake Shore Cryotronics, Inc., 2004. - 231 p.
5. V.L. Borblik, Yu.M. Shwarts, and M.M. Shwarts. Revealing the hopping mechanism of conduction in heavily doped silicon diodes // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. - V. 8, N2. – p. 41-44 (2005).

*Юрий Михайлович Шварц,  
доктор физ.-мат. наук, зав. лабораторией полупроводниковых датчиков физических величин, ИФП им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, г. Киев, Украина,  
тел. (044)525 7463, shwarts@isp.kiev.ua,*

*Марина Михайловна Шварц,  
кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник, ИФП им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,  
г. Киев, Украина,*

*Алексей Николаевич Иващенко,  
научный сот рудник, ИФП им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, г. Киев, Украина,*

*Ирина Владимировна Дикая,  
ведущий инженер, ИФП им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,  
г. Киев, Украина,*

*Иван Павлович Жарков,  
канд. физ.-мат., зав. лаб. криогенных технологий, ИФ НАН Украины, г. Киев, Украина,*

*Виталий Викторович Сафронов,  
научн. сотр., лаб. криогенных технологий, ИФ НАН Украины, г. Киев, Украина.*