

Ордин С.В.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург,  
Россия

stas\_ordin@mail.ru

Аномально высокие термоэдс регистрировали в области контактов уже давно. Но, с одной стороны, была плохая повторяемость экспериментальных результатов, с другой стороны, попытки описать их как барьерные термоэдс на базе формулы Ричарсона давали пренебрежимо малые токи [1]. Кроме того, анализ модели Иоффе [2] выявил в ней принципиальное противоречие в описании термоэдс, возникающих собственно на контактах [3, 4]. Для устранения противоречий макроскопической теории термоэлектричества потребовалось расширение её феноменологии [5] в нелинейную область и описание ЭДС, возникающих в перепаде температур непосредственно на контакте как локальных [6]. Высокой повторяемости результатов измерения локальных термоэдс удалось добиться путём использования в качестве контакта р-п переходов на поверхности кремниевых пластин [7].

Ранее были проведены исследования локальных термоэдс при создании потока тепла с помощью прижимных контактов и измерениях перепадов температуры с помощью термпар, расположенных на нагревателе и радиаторе, в непосредственной близости от исследуемого микрообъекта.

Эта стандартно используемая методика измерения термоэлектрических параметров массивных образцов после её прецизионной настройки позволила показать, что выпавшая из макроскопического термоэлектрического рассмотрения собственно контактная область имеет свою специфику, в принципе не описываемую макроскопической теорией термоэлектричества. Эпизодически наблюдаемые ранее на контактах гигантские (по сравнению с коэффициентом Зеебека) ЭДС получили надёжное подтверждение. При уменьшении размера исследуемого объекта (кристаллика карбида кремния) до единиц микрон (так что объёмная часть образца становилась сравнима с областью контакта) и создании на микро объекте перепада температуры термоэдс становилась выше теоретически максимально

достижимого коэффициента Зеебека для данного полупроводника в массивном состоянии по крайней мере на порядок, а удельная мощность была также высока. Основные результаты проведенных экспериментов по отмеченной «контактной» методике были представлены в работах [8-11]. Так как подведение тепла с помощью тесных контактов является общепринятой методикой в термоэлектрических исследованиях, то её использование на первом этапе исследования локальных термоэдс в микрообъектах давало понятные (привычные) для большинства специалистов в области термоэлектричества результаты, что позволило на первом этапе исследований говорить на привычном им языке. Но качественное отличие описанных выше исследований заключалось в том, что если в термоэлектричестве традиционно используют при исследованиях перепады температуры от единиц до сотен градусов, то создаваемые на микрообъектах перепады температуры составляют доли градуса: сотые, тысячные и меньше. Для специалистов, занимающихся термоэлектрическими генераторами и холодильниками, это «пренебрежимо малые» величины. Для специалистов, занимающихся термоэлектрическими детекторами, это величины привычные, т.к. превышения сигналом уровня собственных шумов детектора происходит уже при перепаде температуры миллионная градуса, а в разработанном нами анизотропном термоэлектрическом детекторе (АТД) на базе кристалла высшего силицида марганца (ВСМ) в селективном режиме сигнал превышает собственный шум при одной десятиmillionной градуса. Оптические методики, отлаженные при разработке собственно АТД, были также применены и для анализа локальных термоэдс в р-п переходах.

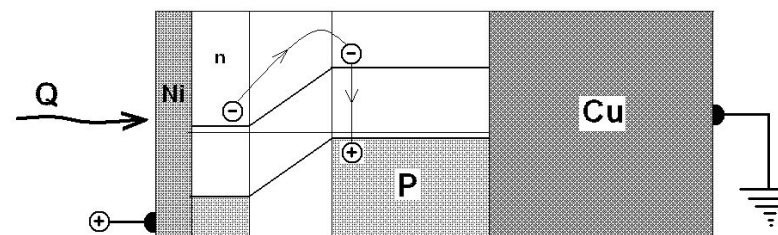


Рис.1. Схематическое изображение экспериментального образца для измерений продольных термоэдс на р-п переходе.

Исследованные образцы представляли собой кремниевую пластину с поверхностным р-п переходом, закрытым от попадания света плёнкой никеля толщиной 1 мкм (рис.1). Подаваемое на образец излучение света преобразовывалось в тепловой поток Q, который отводился медным радиатором. Между Ni плёнкой и Cu радиатором измерялось генерируемое в потоке тепла Q напряжение.

Оптическая методика, в отличие от методики с тесными контактами, позволила получить не только качественное, но и количественное подтверждение как самого существования локальных термо-ЭДС, а также провести анализ во многом необычных (непривычных) характеристик.

Измерения проводились как при постоянных потоках излучения светодиода, так и при модуляции его излучения меандром. Так как локальные термоэдс, в принципе, неселективны, использовалась оптическая экранировка измеряемых образцов от паразитных излучений. Так как структуры на базе р-п переходов чувствительны к электрическим наводкам, то исследуемые образцы помещались в магнитный экран – изготавливались в виде детекторов с входным оптическим окном (рис.2). Фактически приготовление образца для измерений сводилось к изготовлению макета действующего детектора.

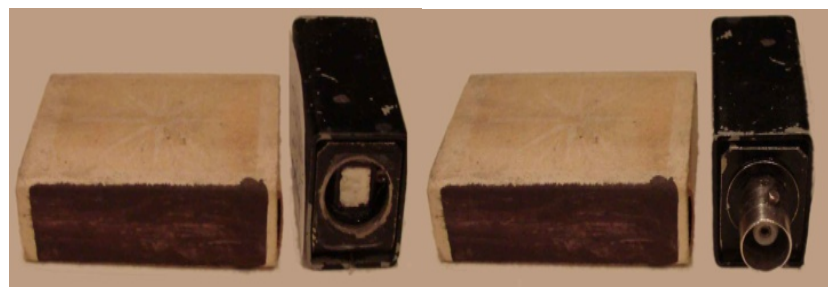


Рис.2. Вид детектора Ln3 на продольных локальных термоэдс.

Так как были обнаружены собственные резонансы локальных термо-ЭДС, то для исключения резонансов в измерительных цепях, все приборы подключались через безиндукционные сопротивления 10 Мом.

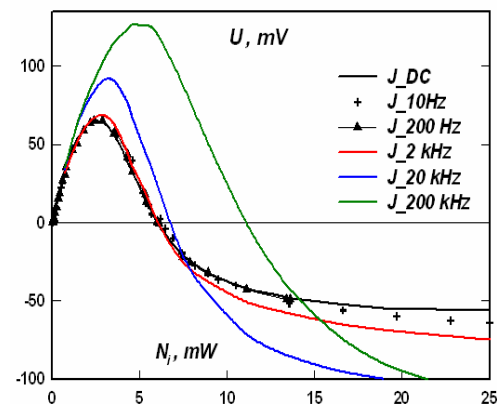


Рис.3. Характерная зависимость локальных термо-ЭДС от мощности (теплового потока) при разных частотах его модуляции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тауц Я., Фото - и термоэлектрические явления в полупроводниках, М., 1962, ИЛИ, 254с.
2. Стилбанс Л.С., Термоэлектрические явления, в кн. Полупроводники в науке и технике, т. I, М. - Л., 1957, изд. АН СССР, с. 113 - 132.
3. Ordin S.V., Optimization of the Working Regime of Thermoelements on a Base of Simplified Ioffe-Stilbans Equation, Proceedings of V Interstate Seminar: Thermoelectrics and their applications, November, 1996, St.-Petersburg, Publishing House RAS, 1997, p. 149-152, p.223.
4. S.V. Ordin, Optimization of operating conditions of thermocouples allowing for nonlinearity of temperature distribution, J. Semiconductors, 31(10), p.1091-1093, 1997.
5. S.V. Ordin, W.N. Wang, An extension of linear phenomenology and new thermoelectric effects, Abstracts of MRS, October, 1999.
6. Ordin S.V., CONTACT THERMOPOWERS, Abstract, Proceedings of ICT'02 XXI International Conference on Thermoelectrics August 25 - 29, 2002, Long Beach, CA USA 2002.
7. Ордин, С.В., Соколов И.А., Зюзин А.Ю. Термоэлектрические эффекты в р-п переходах. Сборник докладов X Межгосударственного семинара «Термоэлектрики и их применения», ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, 2006, с. 41-47.
8. Ордин, С.В., Ванг В. Н. Термоэлектрические свойства наноструктур. Сборник докладов XI Межгосударственного семинара

- «Термоэлектрики и их применения», ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, 2008, с. 55-60.
9. Ordin S.V., Zjuzin A. Yu., Ivanov Yu. and Yamaguchi S., Nano-structured materials for thermoelectric devices, NATO Workshop "Advanced Materials and Technologies for Micro/Nano-Devices, Sensors and Actuators" June 29 - July 2, 2009, St Petersburg, Russia
  10. Ордин, С.В., Ванг В. Н. Термоэлектрические эффекты микро и наномасштаба. Сборник докладов XII Межгосударственного семинара «Термоэлектрики и их применения», ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, 2010, с. 73-78.
  11. S.V. Ordin, W.N. Wang, "Thermoelectric Effects on Micro and Nano Level.", J. Advances in Energy Research, Volume 9, 2011, 30 pp.