

Исследование переноса тепла через нанометровые диэлектрические слои и вакуумные зазоры

Научный руководитель проекта: г.н.с., д.ф.-м.н.
Овсюк Виктор Николаевич

Организация-исполнитель: Институт физики
полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Аннотация

- Основная цель проекта в целом – разработка технологии миниатюрного и экономичного охлаждающего устройства («холодильника») на основе твердотельной структуры.
- Конструкция холодильника – слоистая структура, состоящая из двух слоев полупроводника («эмиттера» и «коллектора»), разделенных вакуумным зазором нанометровой толщины примерно 10-15 нм, к которым приложена разность потенциалов 0,1–1,0 В.
- Принцип работы холодильника – автоэлектронная эмиссия и т. н. отрицательный эффект Ноттингхема, который заключается в охлаждении эмиттера за счет преимущественной туннельной эмиссии «теплых» электронов с энергиями выше уровня Ферми эмиттера.

Аннотация

Расчетные параметры холодильника:

- a) Масса холодильника – 0,5 г на 1 см² охлаждающей поверхности.
- b) Расчетная мощность охлаждения – до 400 Вт/см² (при практическом отсутствии обратного теплового потока)
- c) Теоретический предел температуры холодной поверхности эмиттера – около 100 К.
- d) КПД 70–75 % по отношению к циклу Карно.

Основные проблемы:

1. Получение гладких поверхностей эмиттера и коллектора с шероховатостью менее 1 нм.
2. Получение вакуумных зазоров между эмиттером и коллектором с отклонением от среднего значения не выше нескольких процентов.
3. Разработка эмиссионных покрытий для эмиттера с эффективной работой выхода не выше 1 эВ.
4. Минимизация величины обратных тепловых потоков между нагреваемым коллектором и охлаждаемым эмиттером, обусловленных теплопроводностью торцевых изоляционных стенок из диоксида кремния, а также увеличением интенсивности радиационного переноса тепла через узкие зазоры, которое предсказывается флуктуационно-диссипативной теоремой.

Перспективы НИР

- Твердотельные охлаждающие наноэлектронные устройства, в силу их миниатюрности и экономичности, легко могут быть встроены в управляющие электронные чипы микро-, фото- и наноэлектроники для традиционного охлаждения ответственных элементов и узлов с целью понижения уровня их шумов и повышения быстродействия кристаллов.
- Охлаждение современных высокочувствительных матричных приемников излучения в фотоприемных устройствах (ФПУ) среднего и дальнего ИК-диапазонов обеспечивается исключительно механическими микрокриогенными системами (МКС). Замена МКС твердотельными охлаждающими устройствами с чисто электронным управлением обеспечит радикальное уменьшение массогабаритных характеристик ФПУ, их энергопотребления и цены с одновременным увеличением надежности ФПУ.

Перспективы НИР

- Легко транспортируемые и экономичные твердотельные холодильники в миниатюрном исполнении с объемом холодильной камеры от одного до нескольких десятков кубических сантиметров способны обеспечить длительное сохранение биологических объектов при криогенных температурах.
- Предполагаемое исследование теплового сопротивления нанометровых диэлектрических слоев позволит, во-первых, выявить соотношение ролей собственно теплопроводности и фононного отражения на границах в формировании теплового сопротивления слоев, а во-вторых, рассчитывать оптимальные тепловые режимы работы сложных электронных кристаллов с силовыми элементами, нуждающимися в эффективном пассивном отводе тепла.

Перспективы НИР

- Предполагаемая разработка метода исследования переноса излучения между поверхностями, разделенными нанометровыми зазорами, позволит экспериментально проверить основные предсказания т. н. флуктуационно-диссипативной теоремы.

Планируемые результаты на 2009 год

- Теоретический анализ эффективности охлаждающего устройства на основе эффекта Ноттингхема и автоэлектронной эмиссии через вакуумный зазор нанометровой ширины. Определение оптимальной величины работы выхода из эмиттера.
- Разработка измерительного устройства и определение особенностей теплопроводности тонких диэлектрических слоев диоксида кремния в зависимости от толщины в диапазоне толщин примерно 10–100 нм.
- Разработка принципов построения экспериментального прибора для измерения переноса лучистой энергии через (регулируемые) вакуумные зазоры нанометровой ширины.