

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАНТОВОГО ТУННЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ

Мангул Д.И.

Научный руководитель – Хорунжий И.А., к.ф.-м.н., доцент

Одна из проблем, с которыми столкнулось дальнейшее развитие микроэлектроники – проблема охлаждения микросхем, процессоров и других нагруженных элементов полупроводниковых устройств. Использование традиционных методов охлаждения часто вызывает негативные побочные явления и сложности. В первую очередь речь идет о массогабаритных параметрах, долговечности, надежности, а также о сопутствующих шумах. В то же время микроминиатюризация электроники требует обеспечения отвода тепловых потоков очень высокой плотности вплоть до  $100\text{--}1000\text{ Вт/см}^2$  от небольших по площади “горячих точек”. Все это делает актуальным поиск и совершенствование новых методов охлаждения, основанных на новых физических принципах.

Одним из перспективных направлений развития систем охлаждения электронных устройств являются твердотельные охлаждающие устройства, в которых используется эффект туннелирования электронов. Туннелирование микрочастиц – чисто квантовый эффект, который заключается в том, что микрочастицы могут проникать с ненулевой вероятностью сквозь потенциальный барьер. В качестве потенциального барьера может выступать тонкий (толщиной порядка нескольких нанометров) слой диэлектрика, расположенный между двумя проводящими слоями вещества. Под действием электрического поля, направленного перпендикулярно слою диэлектрика, возникает электрический ток, обусловленный туннелированием электронов через слой диэлектрика. Вероятность прохождения электронов через потенциальный барьер тем выше, чем больше кинетическая энергия электрона, поэтому электрический ток сопровождается переносом тепловой энергии. Средняя кинетическая энергия электронов в той области, из которой наиболее быстрые электроны вследствие туннельного эффекта уходят, снижается и эта область остывает, а та область, которая находится за потенциальным барьером, нагревается. Изменяя величину тока можно регулировать величину теплового потока [1].

### Литература

1. A.M. Clark, N.F. Miller, F. Williams, S.T. Ruggiero, G.C. Hilton. Cooling of bulk material by electron-tunneling refrigerators// Applied Physics Letters, V.86, № 17, 173508 (2005).