

К. т. н. Е. Б. МЕХАНЦЕВ, к. т. н. Е. Т. ЗАМКОВ, А. В. ПАЛИЙ

Россия, Таганрогский государственный радиотехнический университет
E-mail: kes@fep.tsure.ru

Дата поступления в редакцию
15.11 2006 г. — 01.02 2007 г.

Оппонент к. т. н. В. Ю. КРАВЕЦ
(НТУУ "КПИ", г. Киев)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ПАРАМАГНИТНОГО ВЕЩЕСТВА В КОНДЕНСАТОРЕ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

Приведена мотивация возможности использования парамагнетиков в сильном магнитном поле в криогенных тепловых трубах.

Отвод тепла от греющихся в процессе работы различных элементов и устройств в целом имеет своей целью повышение их надежности. Эффективной системой теплоотвода является тепловая труба (ТТ).

Конструктивно классическая тепловая труба состоит из зон испарения, паропровода и конденсации. Общий принцип действия подобных ТТ состоит в следующем. Внутри корпуса вводят небольшое количество жидкости, откачивают воздух и герметизируют (запаивают) корпус. При подводе тепла к зоне испарения жидкость переходит в пар, пар движется по паропроводу, конденсируется в зоне конденсации, конденсат стекает по стенкам вниз, обратно в зону испарения.

Необходимым условием работы является отвод тепла из зоны конденсации, при этом эффективность теплоотвода ТТ в значительной степени определяется эффективностью работы ее конденсатора. Конденсатор будет тем эффективнее, чем быстрее он будет передавать тепло в окружающее пространство (внешний приемник тепла).

Кроме известных конструкций конденсаторов [1, 2], в работе [3] рассматривалась возможность выполнения конденсатора тепловой трубы на основе лазерного рефрижератора с газодинамической накачкой. В данной работе для охлаждения рабочего вещества в конденсаторе предлагается использовать способность парамагнетиков охлаждаться в сильном магнитном поле. Это свойство целесообразно использовать в криогенных тепловых трубах.

Известно, что процесс адиабатического размагничивания парамагнитного вещества приводит к понижению его температуры [4, с. 12].

Количественная оценка процесса намагничивания парамагнетиков характеризуется пропорциональной связью между степенью намагниченности материала (значение магнитного момента) и напряженностью магнитного поля:

$$M = \frac{N\mu^2 B}{3kT},$$

где M — магнитный момент;

N — число атомов в единице объема;

μ — постоянная намагничивания;

B — напряженность магнитного поля;

k — постоянная Больцмана;

T — температура.

Эта приближенная формула верна тогда, когда отношение $\mu B/kT$ много меньше единицы. Эффект парамагнетизма сильнее проявляется в веществах при понижении температуры и слабее — при ее повышении.

Чем сильнее становится поле, тем быстрее магнитный момент приближается к своему предельному значению, когда наступает предел намагничивания, насыщение (магнитные диполи выстраиваются в одном направлении). До наступления насыщения магнитные диполи стремятся выстроиться в направлении действия магнитного поля, а действие температуры (kT) приводит к уменьшению этого эффекта. При этом будет происходить понижение температуры, т. к. тепловая энергия тратится на изменение направления доменов, а магнитное поле стремится вернуть их в исходное состояние.

Если взять в качестве парамагнетика соль, содержащую некоторое количество примеси редкоземельных атомов (например, аммиачный нитрат празеодима), и охлаждать ее жидким гелием до 1—2 К в сильном магнитном поле, то большинство спинов приобретет одинаковую направленность, и намагниченность достигнет насыщения. Если в этот момент обеспечить тепловую изоляцию соли (удалив жидкий гелий и создав вакуум) и выключить магнитное поле, то температура соли уменьшится из-за затрат тепловой энергии на разворот диполей.

При внезапном отключении поля тепловая энергия приведет к хаотическому распределению направлений диполей. Но случайное распределение направлений диполей установится без какого-либо изменения температуры. Если же магнитное поле ослаблять постепенно, то изменения направлений диполей произойдут с затратой некоторой энергии, т. е. будет совершаться работа против действия поля. Этот процесс приводит к уменьшению температуры соли, т. к. происходит с поглощением тепловой энергии: размагничиваясь, соль охлаждается.

Механизм охлаждения вещества при его размагничивании можно представить и с точки зрения кван-

товой механики. Когда напряженность поля достаточно сильна, все атомы находятся в наинизшем энергетическом состоянии. Но как только напряженность поля понижается, тепловые флуктуации со все большей и большей вероятностью будут «выталкивать» атомы на более высокие энергетические уровни, при этом каждый атом поглощает энергию $\Delta U = \mu_0 B$. Если магнитное поле выключается медленно, магнитные переходы могут отбирать энергию тепловых колебаний кристалла, тем самым охлаждая его.

Таким способом можно понизить температуру от нескольких градусов до тысячных долей градуса. Возможно и дальнейшее охлаждение вещества — за счет ядерного парамагнетизма, т. к. и у ядер есть магнитные моменты, только они приблизительно в тысячу раз меньше. Точнее, они меньше в число раз, равное отношению масс протона и электрона. А для таких магнитных моментов даже при температуре 2 К показатель $\mu B/kT$ составляет всего несколько тысячных. Но если мы используем парамагнитное размагничивание и достигнем температуры в несколько тысячных долей градуса, то $\mu B/kT$ становится порядка единицы; при столь низких температурах мы уже можем говорить о насыщении ядерного магнетизма. И теперь, воспользовавшись адиабатическим размаг-

ничиванием системы магнитных ядер, можно достичь еще более низких температур.

Таким образом, в магнитном охлаждении возможны две стадии. Сначала предварительно охлажденный в жидком гелии парамагнитный материал подвергается диамагнитному размагничиванию, и температура снижается до нескольких тысячных долей градуса, затем материал помещается в холодную парамагнитную соль.

Когда магнитное поле выключается, температура материала доходит до миллионных долей градуса.

Таким образом, для криогенных тепловых труб при необходимости может быть обеспечен определенный диапазон регулирования температуры в конденсаторе.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Елисеев В. Б., Сергеев Д. И. Что такое тепловая труба?— М.: Энергия, 1971.
2. Вааз С. Л. Тепловые трубы и их применение.— М.: ЦНИИ «Электроника», 1974.
3. Механцев Е. Б., Замков Е. Т., Палий А. В. Конденсатор тепловой трубы на основе лазерного рефрижератора // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2006.— № 3.— С. 48—49.
4. Гребер Г., Эрк С. Охлаждение адиабатическим размагничиванием.— М.: Изд-во иностр. лит., 1978.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Тимофеев В. Н., Позалов А. И., Угольников С. В., Андрианов А. М., Панкратов О. В. Техническая механика микросистем: Уч. пособие / Под ред. В. Н. Тимофеева.— М.: МИЭТ, 2006.— 188 с.

Пособие посвящено механике микросистем, являющейся составной частью физики микросистем. Изложены основы теории механических колебаний, анализа напряженно-деформированного состояния несущих элементов, демпфирования, электромеханики. Рассмотрены современные конструкции микрогирометров, акселерометров, микрозеркала, что обусловлено большим практическим интересом к таким приборам.

Предназначено для студентов старших курсов, обучающихся по направлениям (специальностям) «Микросистемная техника» и «Микроэлектроника и твердотельная электроника». Может быть полезно аспирантам и инженерам, занимающимся исследованием и разработкой микросистемной техники.

НОВЫЕ КНИГИ



Гамбург Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению.— М.: Техносфера, 2006.— 216 с.

Справочник содержит данные по современной гальванотехнике и свойствам гальванопокрытий для разных областей применения. Детально разобраны преимущества и недостатки каждого вида покрытий, их функциональные характеристики, рецептура растворов, методы их приготовления, принципы выбора оптимальных процессов, режимы работы и особенности эксплуатации гальванических ванн.

Приведены исчерпывающие сведения об электрохимии анодных и катодных реакций. Даны подробные сведения о роли компонентов, примесей и добавок, методы контроля физических свойств и структуры гальванопокрытий.

Справочник предназначен для учащихся и технологов в отраслях машиностроения, приборостроения и электроники.