

РЕФРИЖЕРАТОР С He^3 ДЛЯ СВЧ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

А. Е. Фрагел, Г. Н. Михайлова,
В. А. Мильев, С. И. Валанский

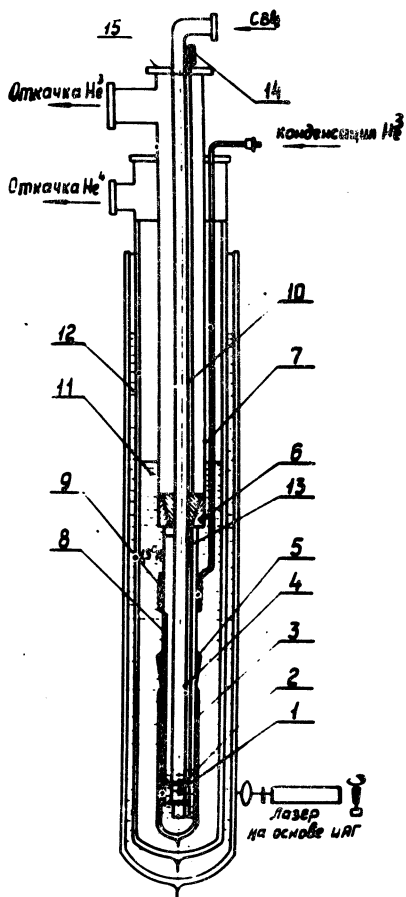
УДК 536.581.3

Описан рефрижератор с He^3 на температуру 0,5 – 1,5°K хладопроизводительностью 10 мвт при 0,5°K для изучения фотопроводимости Ge на СВЧ ($\nu = 36$ Гц), возбуждаемой мощным лазерным импульсом. Приводятся результаты испытаний, обсуждается вопрос о перегреве образца.

Развитие исследований СВЧ проводимости Ge при низких температурах /1/ потребовало разработки удобного в эксплуатации рефрижератора на температуру до 0,5°K. В качестве хладагента в рефрижераторе был применен He^3 . Несмотря на сравнительно малую теплоту испарения и плохую теплопроводность, жидкий He^3 удерживается в ванне при лазерной мощности, падающей на образец, $P < 10$ мвт. Перегрев образца исключается благодаря хорошему контакту пластинки Ge со стенками медного СВЧ резонатора, имеющими большую поверхность.

Основное преимущество описываемого рефрижератора перед уже имеющимися состоит в том, что он прост по конструкции, легко разбирается, допускает смену образцов без распайки криостата.

Схема прибора представлена на рисунке 1. Емкостью для He^3 служит стеклянный дьяр /2/, верхняя часть которого имеет спай медь-стекло, посредством которого он крепится к трубе откачки. Змеевик и капилляр служат для конденсации He^3 в режиме циркуляции. Система откачки He^3 аналогична описанной в работе /3/. Измерение температуры производилось по давлению насыщенных паров He^3 манометром Мак-Леода и угольным термометром сопротивления.



Р и с. 1. Схема прибора. I - образец; 2 - резонатор на 36 Гц, тип H_{102} ; 3 - джар для He^3 ; 4 - волновод 7,2x3,4 мм, нерж. сталь; 5 - переход медь-стекло; 6 - шлифовое соединение; 7 - труба откачки He^3 ; 8 - капилляр; 9 - змеевик; 10 - тяга поршня; II - ванна He^4 при $T = 1,3^\circ\text{K}$; I2 - азотная ванна; I3 - экран; I4 - силиконовое уплотнение тяги; I5 - фланец.

Образец I помещен в перестраиваемый прямоугольный резонатор 2 типа Н₁₀₂ или короткозамкнутый отрезок волновода на частоту ~ 36 ГГц. Вакуумное уплотнение волновода осуществляется кварцевой пластинкой, заклеенной эпоксидом ПР в верхней части пребора. Для уменьшения теплопритока к He³ волновод 4 приведен в хороший тепловой контакт с ванной He⁴ при помощи массивного шлифового соединения 6 /4/.

Хладопроизводительность рефрижератора составляет 10^{-2} вт при $0,5^\circ\text{К}$, минимальная температура в режиме циркуляции - $0,45^\circ\text{К}$. Запас газообразного He³ - 10 л. Расход жидкого He⁴ на 10 час работы ~ 10 л.

Оптическое возбуждение образца осуществлялось лазером на основе иттрий-алюминиевого граната с примесью Nd³⁺ ($\lambda = 1,06$ мкм) в режиме модулированной добротности. Максимальная энергия в импульсе 10^{-4} Дж, частота следования 100 Гц. Лазерное излучение попадало на образец через щели в азотном и гелиевых дьяраках и отверстие в резонаторе. Потери света при этом составляют $\sim 50\%$.

Визуальное наблюдение за состоянием жидкого He³ показало, что при лазерном облучении не происходит бурного кипения жидкости, что связано с малым поглощением He³ излучения с $\lambda = 1,06$ мкм.

Изучалось влияние размеров и способов крепления образца на перегрев Ge относительно He³. Экспериментально перегрев образца можно оценить по сигналу СВЧ фотопроводимости (с точностью $0,3^\circ$ при $T = 1,5^\circ\text{К}$), исходя из известной зависимости времени жизни экситонных комплексов от температуры /5/. Было выяснено, что указанный перегрев отсутствует, если образцы Ge наклеить силиконовой замазкой непосредственно на стенку резонатора. Когда образец крепился на подставке из тефлона, был отмечен нагрев образца на 1° при максимальной мощности лазера. Температура резонатора контролировалась угольным термометром сопротивления, укрепленным на стенке резонатора. При максимальном лазерном возбуждении был отмечен перегрев резонатора на $0,1^\circ$ при $T = 0,5^\circ\text{К}$ в He.

Полученные результаты по перегреву образца могут быть объяснены следующими соображениями. Основным препятствием для охлаждения образца служит пристенное тепловое сопротивление Капицы, которое образуется на границе двух сред из-за разницы в акустических импедансах. Сопротивление Капицы на границе медь-He³ рав-

но $R = \sigma \Delta T / W = 50 / T^3 [^{\circ}\text{K см}^2 / \text{Вт}] / 6$, где σ — поверхность образца. Рассчитанный по этой формуле перегрев Ge размером $9,7 \times 2 \text{ мм}^3$, свободно подвешенного в жидкости ($\sigma = 1,9 \text{ см}^2$, $T = 0,5^{\circ}\text{K}$, $W = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$), равен $\Delta T = 1^{\circ}$. Очевидно, что величина перегрева в 1° на уровне $0,5^{\circ}\text{K}$ не может считаться удовлетворительной.

Так как теплопередача между твердыми телами при низких температурах менее затруднена, естественно использовать в качестве теплостока хладопровод с большой поверхностью контакта с He^3 .

Графическое сопротивление металл-металл по данным /7/ равно: $R = 1/W = 0,8 / T^3 [^{\circ}\text{K см}^2 / \text{Вт}]$. Используя эту формулу для определения разницы температур между Ge и медным хладопроводом ($W = 5 \text{ мВт}$, $\sigma = 0,63 \text{ см}^2$, $T = 0,5^{\circ}\text{K}$), получим величину $\Delta T = 0,05^{\circ}$. Расчет перегрева хладопровода с образцом относительно He^3 ($\sigma = 20 \text{ см}^2$, $W = 5 \text{ мВт}$, $T = 0,5^{\circ}\text{K}$) дает $\Delta T = 0,1^{\circ}\text{K}$.

Таким образом, разница температур между образцом и He^3 должна превышать $0,15^{\circ}$.

Из приведенных здесь оценок становится ясно, как избежать перегрева образца: необходимо увеличивать площадь контакта между образцом и хладопроводом и иметь достаточно большую поверхность самого хладопровода; хладопровод следует изготавливать из Cu или Ag.

В заключение отметим, что описанный рефрижератор с He^3 работает удовлетворительно при световой мощности, падающей на образец, до 5 мВт и при мощности СВЧ, подводимой к резонатору, порядка 1 мВт, что позволяет проводить комплексные физические исследования материалов; он удобен в работе, прост и надежен по конструкции.

Авторы выражают искреннюю благодарность К. Н. Зиновьевой за полезное обсуждение и В. М. Морковину за изготовление прибора.

Поступила в редакцию
25 апреля 1973 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. А. Маненков, В. А. Милляев, Г. Н. Михайлова, С. П. Смолен. Письма в ЖЭТФ, 16, 454 (1972).
2. В. П. Пешков, К. Н. Зиновьева, А. И. Филимонов. ЖЭТФ, 9, 734 (1959).

3. К. Н. Зяновьева, В. П. Пешков, *ЖЭТФ*, 5, 1025 (1957).
4. T. Halpern, H. Fritzsche. *Rev. Sci. Instr.*, 39, 1336 (1968).
5. J. C. Hensel, T. G. Phillips. *Материалы XI Международной конференции по физике полупроводников, Варшава, 1972 г.*
6. К. Н. Зяновьева. *ЖЭТФ*, 60, 2243 (1971).
7. M. Suomi, A. C. Anderson, B. Holmström. *Physica*, 38, 67 (1968).