

УДК 621.59; 535.8; 536.48

В. КОРРОВИТС, М. ТРУММАЛ

РЕФРИЖЕРАТОР РАСТВОРЕНИЯ С ОПТИЧЕСКИМИ ОКНАМИ

V. KORROVITS, M. TRUMMAL. OPTILISTE AKENDEGA LAHUSTAMISKRUOSTAAT

V. KORROVITS, M. TRUMMAL. DILUTION REFRIGERATOR WITH OPTICAL WINDOWS

(Представил К. К. Ребане)

Целесообразность проведения оптических измерений при температурах $3 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-1}$ К, получаемых в рефрижераторе растворения ${}^3\text{He}-{}^4\text{He}$, обусловлена, на наш взгляд, интересом к температурной зависимости физических процессов, изученных ранее при $T \geq 0,3$ К, в частности, времени жизни триплетного состояния автолокализованных экситонов [1] или примесных центров [2] в щелочногалоидных кристаллах, а также ширины фотохимически выжигаемого провала в неоднородно уширенных полосах спектров стекол [3, 4].

Авторами работы [5] описан рефрижератор растворения, снабженный кварцевым световодом, подводящим световое излучение к образцу, прикрепленному к медному пальцу, который ввинчивается в нижний торец камеры растворения. Минимальная температура криостата составляла 140 мК, холодопроизводительность — 3 мВт при 200 мК. Рефрижератор растворения использовался в [6] для исследования скорости оптической дефазировки ионов Nd^{3+} в кремниевом волокне по методу фотонного эха при $T \geq 100$ мК. При этом объект находился вне камеры растворения, тепловой контакт между объектом и камерой осуществлялся с помощью теплопроводящей жировой смазки. Объект не охлаждался ниже 100 мК, очевидно, из-за недостаточного теплового контакта с камерой растворения.

Для оптических измерений нами был приспособлен рефрижератор растворения ${}^3\text{He}-{}^4\text{He}$, выпускаемый НПО «Гелиймаш» [7]. Его усовершенствованный вариант имеет два последовательно соединенных низкотемпературных теплообменника. Минимальная температура в режиме циркуляции составляет 40–45 мК, в разовом режиме — 32 мК, холодопроизводительность — 46 мВт при 100 мК, скорость циркуляции ${}^3\text{He}$ — до $1,5 \cdot 10^{-4}$ моль \cdot с $^{-1}$.

В нашем криостате путь светового луча был вертикальным со дна криостата в камеру растворения через соосные прозрачные окна и слой сверхтекучего гелия. Центрирование вставки, гелиевого сосуда, азотного экрана и внешнего кожуха производилось на уровне разборных фланцев в нижней части криостата. На оптическом тракте имелось 5 окон: на камере растворения $\varnothing 10$ мм, на вакуумной камере $\varnothing 10$ мм, на гелиевом сосуде $\varnothing 15$ мм, на азотном экране $\varnothing 23$ мм, на внешнем кожухе $\varnothing 24$ мм (рис. 1). Толщина окон 2 и 3 мм. Окно камеры растворения находится на расстоянии 19 см от окна на внешнем кожухе, апертурный угол $2\psi = 10^\circ$. Вводимый в криостат световой луч отражается от зеркала, расположенного за объектом.

Измерения, проведенные в оптическом криостате с ${}^3\text{He}$ [8], пока-

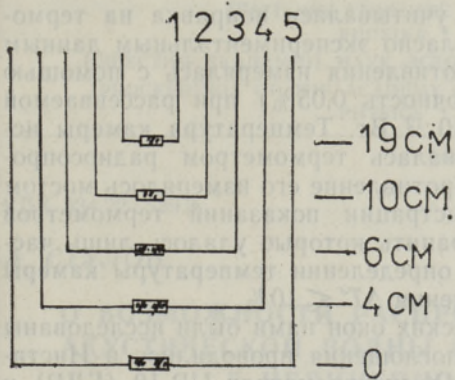


Рис. 1. Расположение оптических окон. 1 — камера растворения, 2 — вакуумная камера вставки, 3 — гелиевый сосуд, 4 — азотный экран, 5 — внешний кожух кристата. Справа показано расстояние окон от внешнего кожуха.

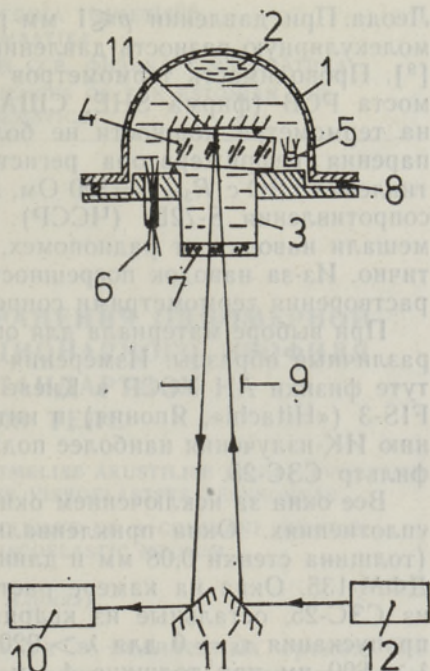


Рис. 2. Расположение образца в камере растворения. 1 — камера растворения, 2 — конденсационный термометр ^3He , 3 — тонкостенный переход, 4 — образец, 5 — термометр, 6 — провода термометров, 7 — окно камеры растворения, 8 — индиевое уплотнение, 9 — окно внешнего кожуха кристата, 10 — система регистрации, 11 — зеркала, 12 — лазер.

зывают, что наилучший тепловой контакт кристаллического образца с медным холодопроводом получается через индиевую прокладку, температура образца при этом превышает температуру сосуда с жидким ^3He на 0,05 К. При использовании силиконовой смазки температура образца оставалась на 0,1 К выше температуры сосуда, сосуд находился в обоих случаях при 0,3 К. Мы прикрепляли образец к медному фланцу камеры растворения с помощью прижимного контакта через индиевую прокладку. Образец при этом не охлаждался ниже 300 мК при температуре камеры растворения 50 мК. Поэтому в дальнейшем мы помещали его в камеру растворения, где тепловой контакт осуществлялся через всю поверхность кристалла в сверхтекучем гелии (рис. 2). Из оценки теплосопrotивления Капицы $R_h T^3 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Vt}^{-1}$ между кристаллическим образцом и жидким ^4He [8] при поглощении светового потока мощностью 0,5 мВт в образце площадью 5 см² получаем повышение его температуры на 2 мК при температуре камеры 100 мК.

Термометры радиосопротивлений типа «Speer» (США), «Matsushita» (Япония) и ТВО (СССР) с $R_{300 \text{ K}} = 100, 80$ и 300 Ом соответственно помещали также в камеру растворения. Провода термометров с помощью эпоксидного клея «Stycast» (США) проведены через медные трубки $\varnothing 2,7$ мм и толщиной стенки 0,08 мм, которые впаивались в съемный нижний фланец камеры растворения. Термометры сопротивления градуировались по магнитному термометру из церий-магниевого нитрата. В каждом эксперименте показания термометров сопротивления сверялись в интервале от 0,5 до 2 К с показаниями конденсационного термометра ^3He , расположенного в верхней части камеры растворения. Давление насыщенных паров ^3He измерялось манометром Мак-

Леода. При давлении $p \leq 1$ мм рт. ст. учитывалась поправка на термомолекулярную разность давлений согласно экспериментальным данным [9]. Проводимость термометров сопротивления измерялась с помощью моста РСВ (фирма SHE, США) (точность 0,05%) при рассеиваемой на термометре мощности не более 10^{-12} Вт. Температура камеры испарения рефрижератора регистрировалась термометром радиосопротивления ТВО с $R_{300\text{ К}} = 300$ Ом, а сопротивление его измерялось мостом сопротивления S-72D (ЧССР). Регистрации показаний термометров мешали наводки от радиопомех, устранить которые удалось лишь частично. Из-за наводок погрешность в определении температуры камеры растворения термометрами сопротивления $\Delta T' \leq 10\%$.

При выборе материала для оптических окон нами были исследованы различные образцы. Измерения ИК-поглощения проводились в Институте физики АН УССР в Киеве на ИК-спектрометрах UR-10 (ГДР) и FIS-3 («Hitachi», Япония) в интервале от 2 до 333 мкм. По поглощению ИК-излучения наиболее подходящим для окон является оптический фильтр СЗС-25.

Все окна за исключением окна на азотном экране были на индиевых уплотнениях. Окна приклеивались к цилиндрической медной трубке (толщина стенки 0,08 мм и длина трубки 10 мм) эпоксидным составом ДФМ-135. Окна на камере растворения и на вакуумной камере были из СЗС-25, остальные из кварца. Фильтр СЗС-25 имеет коэффициент пропускания $\tau_\lambda = 0$ для $\lambda > 920$ нм при толщине фильтра 2 мм и для $\lambda > 800$ нм при толщине 4 мм [10]. Поток ИК-излучения через окна рефрижератора не превышает 10^{-10} Вт. Расчет показывает, что при замене окон из СЗС-25 на окна из кварца поток ИК-излучения составляет 10^{-8} Вт [11]. Оптические измерения в криостате можно проводить в спектральном интервале от 0,2 до 4 мкм.

В криостате проводились измерения температурной зависимости ширины провала, выжигаемого фотохимически в H_2 -октаэтилпорфине в матрице полистирола, в интервале от 50 мК до 1,5 К [12].

Авторы выражают благодарность С. Т. Болдареву за усовершенствование криогенной системы рефрижератора, Г. А. Пучковской за проведение ИК-измерений, Г. Г. Лийдья за полезные советы и стимулирующие дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лийдья Г. Г., Соовик Т. А. Тр. Ин-та физики АН ЭССР, 52, 53—70 (1981).
2. Hizhnyakov, V., Liidja, G., Nagirnyi, V., Soovik, T., Zasubovich, S. Phys. status solidi (b), 120, № 1, 105—115 (1983).
3. Гороховский А. А., Кикас Я. В., Пальм В. В., Ребане Л. А. Физ. твердого тела, 23, вып. 4, 1040—1047 (1981).
4. Thijssen, H. P. H., van den Berg, R. E., Völker, S. Chem. Phys. Lett., 103, № 1, 23—28 (1983).
5. Журкин В. Г., Фрадков В. А., Филин Б. П., Цховребов А. М. ФИАН, СССР, криогенный отдел. Препринт № 107. М., 1982.
6. Hegarty, I., Broer, M. M., Golding, B., Simpson, J. R., MacChesney, J. B. Phys. Rev. Lett., 51, № 22, 2033—2035 (1983).
7. Амамчян Р. Г., Болдарев С. Т., Калитин П. П., Мирославская Е. А., Оносовский Е. В., Пронько В. Г. Химическое и нефтяное машиностроение, № 12, 8—9 (1980).
8. Лийдья Г. Г., Лыхмус А. Э., Нагел У. Х. ПТЭ, 26, № 1, 173—176 (1983).
9. Freddi, A., Modena, I. Cryogenics, 8, № 1, 18—23 (1968).
10. Стекло оптическое цветное. ГОСТ 9411-75. Каталог. М., Госстандарт, 1980.
11. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники, М., «Советское радио», 1978.
12. Гороховский А. А., Корровитс В. Х., Пальм В. В., Труммал М. А. Письма в ЖЭТФ, 42, № 6, 249—252 (1985).