

ТЕХНОЛОГИИ

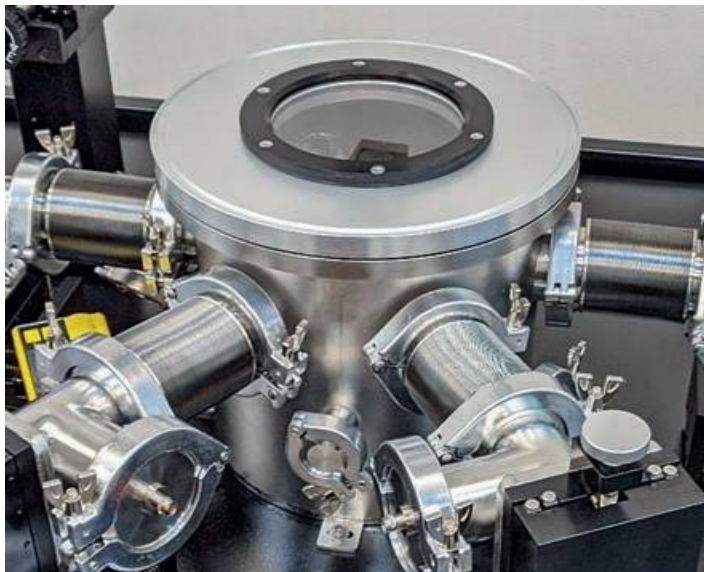
ЗОНДОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ



Текст: Роман Розанов



Измерения при повышенных и пониженных температурах являются неотъемлемой частью процесса разработки новых изделий электроники, исследования малоизученных процессов или эффектов, проявляющихся только при параметрах окружающей среды, которые отличаются от нормальных условий. Для выполнения электрических измерений в контролируемых условиях внешней среды применяют специальные зондовые станции, которые позволяют поддерживать температуру исследуемых образцов в широком диапазоне с высокой точностью.



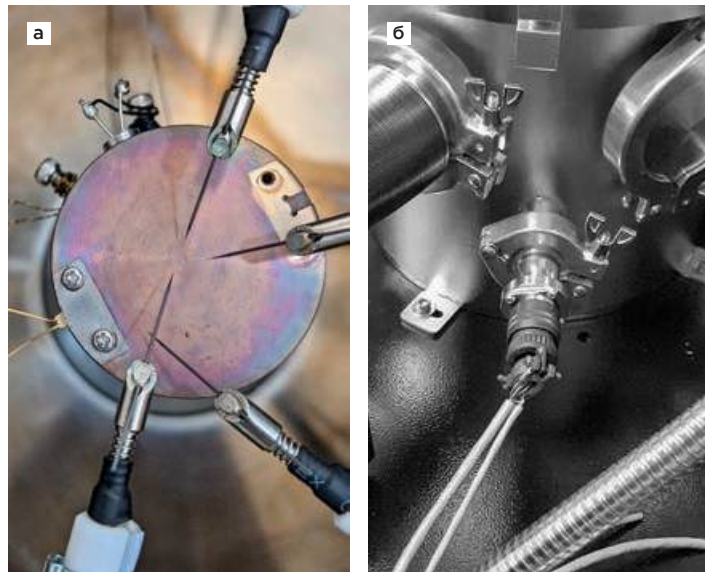
1
Вакуумная камера для проведения исследований в контролируемой атмосфере

Регламентированный рабочий температурный диапазон электронных устройств общего назначения редко выходит за пределы $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тестирование и проверку работоспособности приборов при таких температурах можно выполнять как с помощью стандартных систем тестирования, встраиваемых в производственную линию, так и простыми зондовыми станциями с интегрированной системой нагрева/охлаждения держателя образцов. Однако когда речь заходит о микросхемах специального назначения (например, использование в условиях космоса) или об исследовании новых фундаментальных эффектов, механизм которых ещё не до конца изучен, могут потребоваться измерения в более широком температурном диапазоне.

Так, для исследований при температурах жидкого азота применяют специальные криогенные зондовые станции. Далее в статье на примере одной из реально поставленных в России станций будет рассмотрено общее устройство всего подобного оборудования.

Охлаждение исследуемых образцов до температур ниже $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ нежелательно в атмосфере обычного комнатного воздуха, поскольку на охлаждаемых поверхностях неизбежно будет образовываться иней из атмосферной влаги. Чтобы избежать негативных эффектов охлаждения до температур жидкого азота, в конструкции зондовых станций применяют вакуумные камеры (рис **1**), которые позволяют проводить измерения в разреженной атмосфере или в атмосфере сухих инертных газов.

Внутри вакуумной камеры расположен держатель образцов (рис **2а**). Он выполнен из полированной меди, что дает возможность добиваться однородности температуры по всей площади столика и обеспечивать хорошую теплопередачу исследуемому образцу. Диаметр



2
а) Держатель образцов с зондовыми иглами над ним; б) вакуумный электрический ввод для подключения нагревателя и температурного датчика

держателя составляет 40 мм, что обеспечивает высокую однородность температуры по всей площади и дает разность температуры в центре и на краю столика не более $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также на держателе образцов в непосредственной близости от поверхности закреплён датчик температуры, а в объёме держателя – нагреватель. Их выводы подключены к многоконтактному электрическому вакуумному вводу (рис **2б**).

Считывание показаний датчика температуры и управление нагревателем происходит с помощью термоконтроллера, а поддержание заданной температуры путём задания мощности нагревателя посредством ПИД-регулирования. Используемый термоконтроллер позволяет добиться стабильности температуры на уровне $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ при задании температуры выше комнатной и около $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при охлаждении образцов. Более низкая стабильность температуры в случае охлаждения столика обусловлена методом достижения низких температур. Для охлаждения держателя образцов используется прокачка жидкого азота из расположенного рядом сосуда Дьюара (рис **3**) непосредственно под предметным столиком. Это позволяет достигать температуры исследуемого образца 80 К, однако при кипении жидкого азота возникают флуктуации потока охладителя в незамкнутой системе охлаждения (выхлоп отработанного азота уходит в атмосферу), что ограничивает точность поддержания температуры.

Чтобы избежать обледенения исследуемого образца при охлаждении, а также быстрого окисления медного держателя образцов при нагреве, перед проведением измерений выполняется откачка воздуха из объёма вакуумной камеры. Для этого используются пластинчато-роторный вакуумный насос и стандартная гибкая вакуумная арматура (рис **4**).



3

Сосуд Дьюара для жидкого азота с системой подачи жидкости в систему охлаждения



4

Вакуумный пластинчато-роторный насос с подсоединённым вакуумным трубопроводом и фильтром масляного тумана на выхлопе



5

Вакуумметр, подсоединённый к одному из фланцев вакуумной камеры

Используемое оборудование позволяет достичь давления 10^{-1} Па в вакуумной камере при охлаждении. Этого достаточно для проведения электрических измерений при низких и высоких температурах без последствий для образца и оборудования. Для контроля давления в камере используется конвекционный вакуумметр (рис 5).

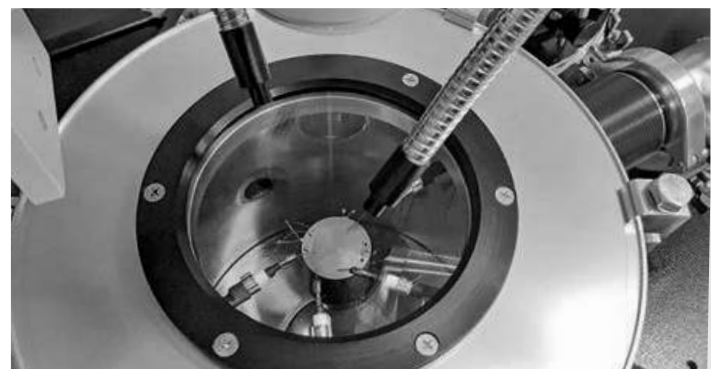
В качестве вакуумных уплотнений используются витоновые кольца, которые обеспечивают быструю загрузку образцов через верхнюю крышку вакуумной камеры, что несколько ограничивает минимально достижимое давление в камере и максимальную температуру нагрева держателя образцов, которая составляет 480 К.

На верхней съёмной крышке есть смотровое окно из закалённого стекла (рис 6), которое дает возможность наблюдать за образцом во время измерений и подведения зондов после откачки.

Для точного позиционирования зондов на контактных площадках исследуемых образцов над смотровым окном камеры установлен оптический стереоскопический микроскоп с переменным увеличением. Микроскоп смонтирован на специальном держателе, установленном рядом с вакуумной камерой, который позволяет быстро менять положение микроскопа в широком диапазоне и обеспечивает его точное перемещение в диапазоне 50×50 мм в плоскости X-Y. Подсветка образца обеспечивается внешним оптоволоконным осветителем (рис 7).

Органы управления микроманипуляторами расположены снаружи вакуумного объёма (рис 8). Такое решение позволяет осуществлять откачку атмосферы из камеры при отведённых зондах, исключая повреждение зондов и образца вследствие возможного движения игл при начале откачки и во время напуска атмосферы по окончании измерений. Также возможно корректировать положение зондов при закрытой камере, что может потребоваться при нагреве или охлаждении образцов из-за разницы в коэффициентах теплового расширения образца и частей установки.

При создании разреженной атмосферы в вакуумной камере возникает сила, втягивающая манипуляторы в откачиваемый объём, что усложняет точное позицио-



6

Верхняя крышка вакуумной камеры со смотровым окном

нирование зондов и может привести к выходу из строя подвижных частей микропозиционеров. Для компенсации данной силы манипуляторы снабжены специальными пружинами, которые облегчают работу при откачанной камере, снижают нагрузку на детали механизма позиционирования и помогают точнее устанавливать измерительные зонды на образцы. На каждом манипуляторе закреплена сменная вольфрамовая игла, осуществляющая непосредственный контакт с образцом. Подвод сигнала к иглам происходит с помощью триаксиальных кабелей, которые обеспечивают низкий уровень утечек и наведённых шумов и позволяют проводить измерения сигналов на уровне фемтоампер. Кабели подключены к вакуумным переходным триаксиальным разъёмам, к которым снаружи подключаются триаксиальные кабели, идущие к измерительному прибору.

Вакуумная камера с микроскопом и манипуляторами расположена на пневматическом виброзащитном столе. Виброзащита обеспечена четырьмя воздушными подушками, давление (8 бар) в которые нагнетается отдельно стоящим компрессором. Также благодаря трём датчикам стол поддерживает заранее установленное положение плоскости столешницы.

Электрические измерения при азотных температурах являются весьма сложным и трудоёмким процессом, но они – неотъемлемая часть многих научных исследований и процессов разработки приборов специального назначения. Получение хороших результатов при реализации столь специфических задач требует применения самых передовых измерительных приборов и оборудования. Специалисты ООО «Остек-Электро» помогут в оценке решаемой задачи, подборе необходимого оборудования и его запуске. Разработанные решения позволят получать наиболее точные данные при измерениях в любом требуемом диапазоне температур.



7
Расположение микроскопа и устройства подсветки над смотровым окном вакуумной камеры



8
Расположение органов управления микроманипуляторами и триаксиальных выходов снаружи вакуумной камеры