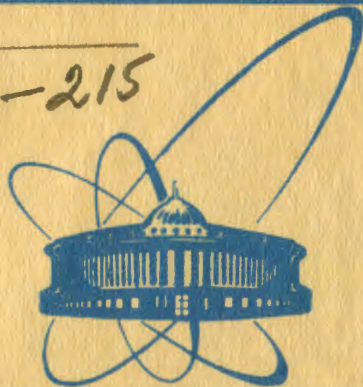


M-215



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

7

6456 / 2-81

28/11-81

13-81-603

А.А.Мальцев

ВЫСОКОВАКУУМНОЕ ПРОГРЕВАЕМОЕ ИК-ОКНО
ДЛЯ ВЫВОДА СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1981

В ходе работ по созданию коллективного ускорителя тяжелых ионов /КУТИ/, проводимых в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ, возникла необходимость вывода синхротронного излучения из вакуумной камеры компрессора, так как оно является информативным средством диагностики электронного кольца. При существующих параметрах ускорителя спектр синхротронного излучения лежит в основном в инфракрасной /ИК/ области. Регистрация излучения ведется в спектральном диапазоне 1-8 мкм, поэтому материал выводного окна, прежде всего, должен быть прозрачен в этой области спектра. Кроме того, окно должно обеспечивать сохранение высокого вакуума в компрессоре / $\sim 10^{-9}$ мм рт.ст./, исключая натекание и газовыделение, способные существенно нарушить вакуум в установке. Высокий стабильный вакуум является одним из необходимых условий работы ускорителя. Достижение такого вакуума предусматривает длительный прогрев камеры компрессора, а вместе с нею и окна для вывода синхротронного излучения, при температуре 300-350°C. Естественно, что герметичность уплотнения окна с оправой не должна нарушаться, так как желательны многократное использование окна; оно должно выдерживать столь жесткие термоусловия также многократно.

В работах^{/1-5/} рассмотрено несколько вариантов высоковакуумных прогреваемых ИК-окон для вывода излучения. К сожалению, ни один из них не оказался приемлемым в условиях КУТИ. Прежде всего, во всех этих работах описываются окна небольшого диаметра / ~ 30 мм/, у нас же требовалось диаметром 70 мм. В связи с этим окно за счет перепада атмосферного давления подвергается значительно большему напряжению. Кроме того, герметизация окон в оправе осуществляется с помощью легкоплавких припоев^{/1-3/} или органических смол^{/2,4/}, а поэтому при температуре обезгаживания камеры компрессора / $\sim 350^\circ\text{C}$ / такие уплотнения будут либо плавиться, с нарушением герметичности уплотнения, либо к тому же являться источником интенсивного газовыделения в силу крекинга /пиролиза/ смол.

Таким образом, разработка конструкции окна для вывода синхротронного излучения инфракрасного диапазона из камеры компрессора КУТИ оказалась необходимостью. В силу специфических условий работы ускорителя были наложены жесткие требования на выбор материалов для окна и оправы. Кроме спектральных и механических требований, предъявляемых к окну, его оправу необхо-

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ

димо было выполнить из немагнитного термостойкого металла; газовыделение из материала окна и оправы не должно заметно ухудшать вакуум в компрессоре.

При решении этой задачи в качестве оптического материала для изготовления окна была выбрана оптическая керамика - поликристаллический материал, сочетающий высокие конструктивные характеристики /изотропность механических свойств/ с хорошей прозрачностью в ИК-области спектра. По прозрачности в области 1-8 мкм весьма подходит оптическая керамика КО-1^{8/} на основе фтористого магния. Вместе с тем она характеризуется высокой механической прочностью ~10 кг/мм² /в несколько раз превосходящей прочность монокристаллического фтористого лития и очень близкой к прочности широко применяемого силикатного оптического стекла К-8/, высокой термо- и термостойкостью. КО-1 длительно работоспособна при температуре 300-350 °С и перепаде давления ~1 кг/см². В качестве материала для оправы выбрана нержавеющая сталь.

Для сочленения окна с металлической оправой, удовлетворяющего условиям высокого вакуума, применен метод диффузионной сварки. При этом опробованы два приема.

Первый заключался в диффузионной сварке диска из готовой оптической керамики КО-1 с оправой, а второй - в совмещении операций изготовления оптической керамики из высокодисперсионного порошка с одновременной диффузионной сваркой получаемой керамики с металлической оправой. Второй прием оказался более эффективным и надежным. Опыт показал, что сохранение герметичного сочленения окна из КО-1 с оправой при их охлаждении от температуры изготовления до рабочей определяется соотношением их коэффициентов теплового расширения /КТР/. В том случае, когда КТР оправы был ниже КТР КО-1 /случай титанового сплава ОТ-4^{7/} и КО-1, КТР при 20-400 °С соответственно равны $9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ и $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ /, вакуумноплотное сочленение при охлаждении разрушалось в силу хрупкости оптической керамики КО-1 при комнатных температурах и возникающих при этом значительных растягивающих напряжений, величина которых может быть оценена соотношением

$$\sigma = \delta \cdot E = E \cdot \alpha \cdot \Delta T,$$

где σ - напряжение растяжения; E - модуль Юнга; δ - относительное удлинение; α - коэффициент линейного расширения; ΔT - изменение температуры.

На основе этого был сделан вывод о необходимости соблюдения таких условий, чтобы при охлаждении окно постоянно находилось под воздействием пусть небольших, но обязательно сжимающих напряжений. Соблюдение этого условия потребовало выбора материала для изготовления оправы окна с несколько большим КТР, чем у КО-1. Для ускорителя тяжелых ионов конструктивным материалом является нержавеющая сталь.



Рис.1. Внешний вид инфракрасного окна.

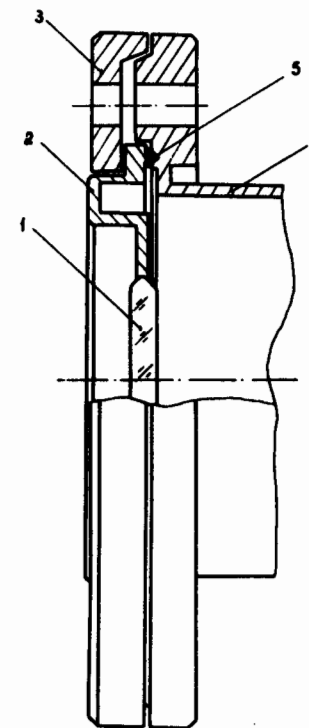


Рис.2. Конструкция окна: 1 - диск из оптической керамики КО-1; 2 - оправка с тонкостенным разгрузочным гофром; 3 - прижимный фланец; 4 - патрубок вывода синхротронного излучения; 5 - уплотнительная металлическая прокладка.

Были изготовлены и испытаны оправы различной конструкции из нержавеющей диамагнитной стали 1Х18Н9Т^{8/}/КТР при 20-400 °С = $17 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ /. Во всех случаях нарушения герметичности в области диффузионно-сварного шва не наблюдалось. Однако наблюдались случаи, когда окна разрушались вдоль плоскости диска под действием значительных сжимающих напряжений. В силу отсутствия возможности подбора состава нержавеющей легированных диамагнитных сплавов с целью уменьшения больших сжимающих напряжений из-за разности КТР оправы и окна, а также устранения напряжений и крутящих моментов, возникающих при уплотнении окна в оправе с помощью металлической прокладки на вакуумной системе, было предложено указанные напряжения снимать путем проточки на кольцевой оправе тонкостенного упругодеформируемого разгрузочного гофра. Окна из КО-1 в оправках такой конструкции, как показал опыт, допускают многократный длительный прогрев при температуре 400-450 °С без нарушения герметичности сочленения на границе окна с оправой.

На рис.1 показан общий вид окна, на рис.2 - разрез окна в собранном виде. Конструктивно окно представляет собой плоско-

параллельный диск /1/ из оптической керамики в оправе /2/ из нержавеющей стали с тонкостенным гофром. Световой диаметр окна 70 мм при толщине 4 мм. Внешний диаметр оправы 155 мм. Крепление на вакуумной системе /4/ осуществляется через металлическую прокладку /5/ с помощью прижимного фланца /3/. Кроме уменьшения механических напряжений в оправе тонкостенный гофр позволяет устранить воздействие крутящего момента на диск КО-1 при креплении окна к вакуумной системе.

Вакуумные испытания окон проводились в два этапа. Первоначально окна испытывались сразу же после диффузионной сварки КО-1 с оправой. Фланец с окном устанавливался на вакуумной системе ВА-05-4ПР^{/9/} и производилась откачка в течение 8 ч до давления $1,5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. при комнатной температуре. В случае отсутствия микротрещин окно полировалось, а оправа обрабатывалась на токарном станке. После чистовой механической обработки оправы и окна согласно оптическим и вакуумным требованиям проводилось испытание на вакуумном стенде в жестком температурном режиме с прогревом до 600 °С в течение суток. Проверка герметичности сочленения окна с оправой проводилась с помощью гелиевого течеискателя ПТИ-7А^{/10/} чувствительностью $4 \cdot 10^{-12}$ л мм рт.ст./с. Как правило, все окна, не имеющие видимых дефектов, возникших при прессовании, проверку на стенде проходили успешно.

Газовыделение с поверхности оптической керамики КО-1 при прогреве образца до 600 °С и при вакууме $\sim 10^{-9}$ мм рт.ст. не превышает $7 \cdot 10^{-7}$ л мм рт.ст./с и не препятствует достижению в камере компрессора высокого вакуума / 10^{-9} мм рт.ст./.

Кроме исследований окон в оправках из нержавеющей стали 1Х18Н9Т, КТР которой почти в полтора раза больше КТР оптической керамики КО-1, нами были изготовлены и проверены окна таких же размеров в оправе из обычной углеродистой стали СТ-3, КТР которой близок к КТР КО-1. Вакуумные испытания также показали полную работоспособность таких окон в высоковакуумных установках.

Таким образом, способ создания окон из оптической керамики в металлической оправе путем совмещения операций изготовления оптической керамики из высокодисперсионного порошка с одновременной диффузионной сваркой ее с металлической оправой существенно упрощает технологию получения высоковакуумных прогреваемых ИК-окон и является весьма перспективным для использования в установках со сверхвысоким вакуумом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eisenstadt M.M. Rev.Sci.Instr., 1967, vol.38, No.1, p.134-135.

2. Schkolnick L.J. Rev.Sci.Instr., 1968, vol.39, No.1, p.122-123.
3. Hannum S.E. et al. Rev.Sci.Instr., 1969, vol.40, No.9, p.1254-1255.
4. Kottke M., Greenler R.G. Rev.Sci.Instr., 1971, vol.42, No.8, p.1235-1236.
5. Bogart L., Ben-Zvi J. Rev.Sci.Instr., 1974, vol.45, No.5, p.713-714.
6. Волюнец Ф.К. ОМП, 1973, №10, с.47-57.
7. Сальников Г.П. Краткий справочник машиностроителя. "Техника", Киев, 1971, с.133.
8. Общетехнический справочник /под ред. А.Н.Малова/. "Машиностроение", М., 1971, с.172.
9. Вакуумные системы и их элементы /под ред. В.Д.Лубеница/. "Машиностроение", М., 1968, с.151.
10. Вакуумные системы и их элементы /под ред. В.Д.Лубеница/. "Машиностроение", М., 1968, с.183.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 октября 1981 года.