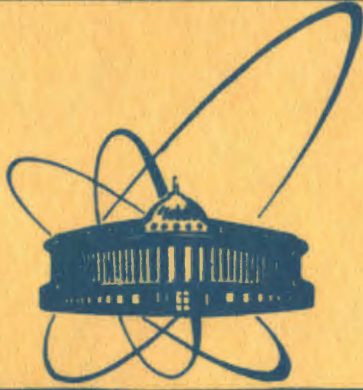


31/x 83



сообщения
Объединенного
Института
Ядерных
Исследований
Дубна

5785/83

9/11-83

P13-83-484

Г.Карраш, Р.Кирхбах, В.Шульце, Г.Щорнак

ПЬЕЗОПРИВОД
ДЛЯ ТОЧНОГО УСТАНОВЛЕНИЯ УГЛА
КРИСТАЛЛ-АНАЛИЗАТОРА
В КРИСТАЛЛ-ДИФРАКЦИОННЫХ
СПЕКТРОМЕТРАХ

1983

1. ВВЕДЕНИЕ

При разработке высокоразрешающего кристалл-дифракционного спектрометра /КДС/ типа спектрометра Брэгга, предназначенного для рентгеноспектроскопических исследований в электронных кольцах коллективного ускорителя тяжелых ионов, избран такой функциональный принцип, когда кристалл остается неподвижным относительно осей X и Y, а вращается только по вертикальной оси Z. При этом было необходимо достигнуть точности установления угла Брэгга θ не хуже $\Delta\theta \leq 0,1''$ при шагах угла $\leq 1^\circ$. Это требует особых приспособлений для измерения угла и установления кристалла на заданный угол. Измерение угла реализуется с помощью двухлучевого лазерного интерферометра и описано в работе^{1/}.

Есть различные функциональные принципы для углового установления кристалла. В описываемой системе избран следующий принцип: с помощью основного привода, состоящего из червячной передачи и планетарного редуктора с двухступенчатым планетарным зубчатым колесом, реализуется основное положение кристалла с точностью $\Delta\theta \approx 1'$. Последовательная система точного установления угла на основе осевого сконструированного точного пьезоустановителя позволяет регулировать вращение кристалла на угол $\Delta\theta \approx 0,1''$ по данным лазерного углового интерферометра.

Осуществление описанной точной регулировки возможно только при решении ряда проблем. Особенно необходимы тщательное, без мертвого хода, изготовление применяемых проволочных подшипников, уменьшение остаточной упругости и достаточно высокая жесткость на механическом выходе пьезоустановителя.

2. ОСНОВНОЙ ПРИВОД КДС

Основной привод установления угла кристалла состоит из первичного привода с шаговым двигателем ИПС-5^{1/7/}, который приводит в действие червячную передачу /передаточное число $i_s = 150/$, связанную с эксцентриком планетарного редуктора. Схема его изображена на рис.1. Передаточное число планетарного редуктора вычисляется по формуле

$$i_{\text{URG}} = \frac{1}{1 - \frac{Z_1 Z_3}{Z_2 Z_4}} \quad /a/$$

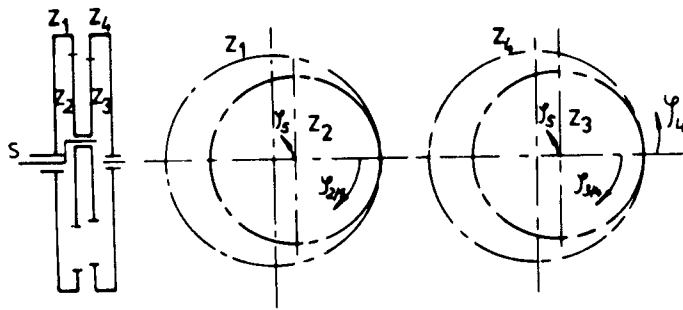


Рис.1. Схема планетарного редуктора.

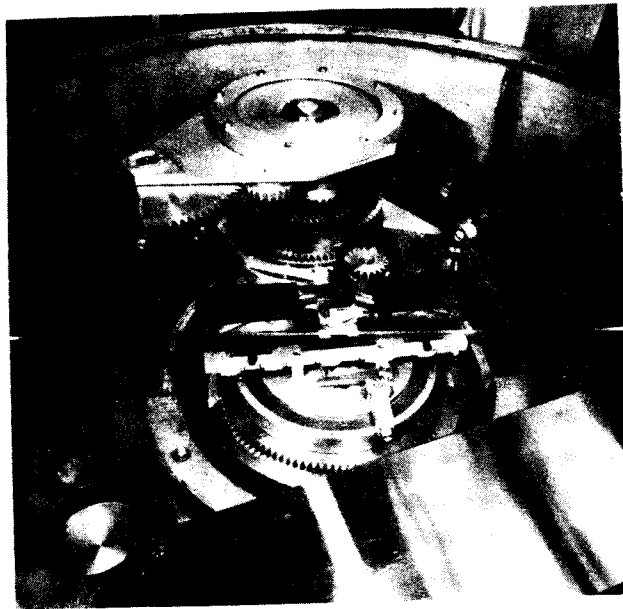


Рис.2. Кристалл-столик с трипельпризмами и установочным кристаллодержателем.

При числе зубьев $Z_1 = 305$, $Z_2 = 254$, $Z_3 = 248$ и $Z_4 = 299$ получаем: $i_{URG} = 248, 1888$, и, в целом - передаточное число привода

$$i_G = i_S \cdot i_{URG} = 37228,3.$$

Таким образом, величина входа на шаговом двигателе уменьшается с $1,5^\circ$ до $0,145''$. Это значит, что на одну угловую секунду приходится $6,894$ шагов двигателя. На ведомом элементе находятся

кристалл-столик и устройство для его точного установления. Опора кристалл-столика реализуется подшипником вращения в виде так называемого подшипника Франке. Общий вид кристалл-столика и находящихся на нем функциональных узлов приведен на рис.2.

С целью анализа качества основного привода измеряли ход ведомого элемента в двух комбинациях зубчатых колес /вариант 1 приведен выше, вариант 2: $Z_1 = 305$, $Z_2 = 253$, $Z_3 = 248$ и $Z_4 = 299$; $i_G = 1620920,7/$. Применение варианта 1 имеет преимущество в том, что резко /с множителем $43,5/$ уменьшается время, затрачиваемое на перемещение прибора на заданный угол и, таким образом, можно найти компромисс между этим временем и точностью установления спектрометра. Одновременно достигается уменьшение колебаний скорости его перемещения /рис.3/, обусловленное увеличением углового пути ведомого элемента. Это значит, что для определенной длины дуги требуется меньшее число сцеплений на входной стороне прибора. С помощью описанного основного привода можно достаточно точно установить спектрометр на необходимый режим работы, который должен удовлетворять требованию - установлению угла Брэгга с точностью около одной секунды с $\Delta\theta \approx 0,1''$. Интерферометрическое определение положения устанавливаемого угла позволяет установить кристалл в непосредственной близости к требуемому углу с $\Delta\theta \leq 1'$.

Затем следует /на основе интерферометрических измерительных данных/ прецизионное установление требуемого угла ($\Delta\theta < 1''$) посредством точной устанавливающей системы.

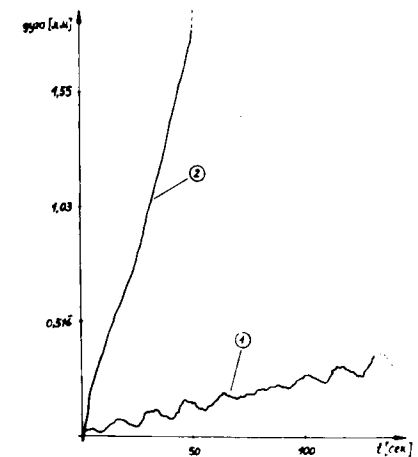


Рис.3. Ход основного привода на месте кристалла. 1 - кривая для $i_{URG} = 10806$; 2 - кривая для $i_{URG} = 248$. Измерение длины дуги производилось на расстоянии 76 мм от центра.

3. ПЬЕЗОПРИВОД ДЛЯ ТОЧНОГО УСТАНОВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛА

Для управляемого от ЭВМ привода точного установления угла Брэгга с точностью до одной секунды существуют в условиях работы

Сравнительные характеристики свойств магнитоэлектрических и пьезоэлектрических установителей /2-4/

Магнитоэлектрический преобразователь	Пьезоэлектрический преобразователь
высокая точность и хорошее воспроизведение	
достижимые величины шагов	
$\Delta l/l = 10^{-5} \dots 10^{-6}$	$\Delta l/l = 10^{-4}$
зависит от температуры	не зависит от температуры в наблюдаемых пределах
существует ток покоя	тока покоя нет, есть только заряд собственной емкости
силы	
малые	большие
управление	
сложное	простое

спектрометра /например, при вакууме 10^{-6} / магнитоэлектрические и пьезоэлектрические установочные устройства. Обзор преимуществ обоих способов дает таблица.

В результате сравнения свойств этих видов устройств избрана пьезоэлектрическая система коррекции. Разработанная нами система точного установления основывается на пьезоэлектрическом установочном звене, величина хода ведомого элемента которого переносится с помощью рычага на кристалл-стол. На рис.4 показана принципиальная схема этого установителя, который представляет собой столбчатую конструкцию из 30 шайб.

При подаче напряжения на электроды пьезошайб происходит увеличение их толщины соответственно пьезомодулю использованного материала. Прочность против пробоя у Piezolan S2 /5/ в постоянном поле - 50 кВ/см, т.е. на двухмиллиметровую пластинку можно подать напряжение 10 кВ. В данном случае при работе с максимальным напряжением 1,5 кВ была достигнута отличная изоляция и отсутствие блуждающих токов. Источник напряжения для управления пьезоприводом описан в /6/. На рис.5 показана измеренная зависимость изменения длины незагруженного пьезоустановителя от при-

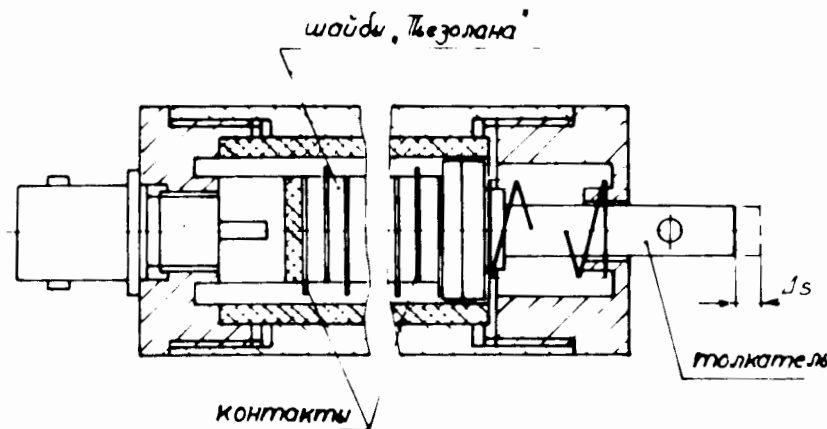


Рис.4. Конструкция пьезопривода. Δs - величина выхода. Размеры конструкции - 26x26x70 мм³.

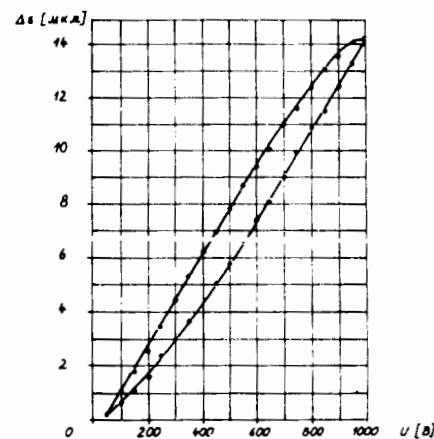


Рис.5. Измеренная зависимость выходной величины Δs пьезопривода от приложенного напряжения.

ложенного напряжения. При этом наблюдаемый нами гистерезис характерен для таких систем, и его надо учитывать при пользовании такими установителями. Для верной передачи напряженно индуцированного удлинения на ведомый элемент надо предварительно напрягать упругие места в пьезостолбике. Предварительное напряжение сжатия выбрано в размере

13 кгс/см². Анализ влияния ожидаемых нагрузок от подключенной механической системы /рычаг/ на ход пьезопривода /на ведомый элемент/ показал, что нагрузки от 2,85 до 30 кгс уменьшали ход ведомого элемента самое большее - на 15% исходной величины /без нагрузки/.

4. КОРРЕКЦИЯ ВРАЩЕНИЯ КРИСТАЛЛА

Точное вращение кристалла реализуется через узел, функциональный принцип и общий вид которого показывают рис.6 и 7. При этом смещение ведомого элемента пьезопривода переводится посредством рычага с целью установления требуемого коррекционного значения на кристалл-стол, который вращается относительно движу-

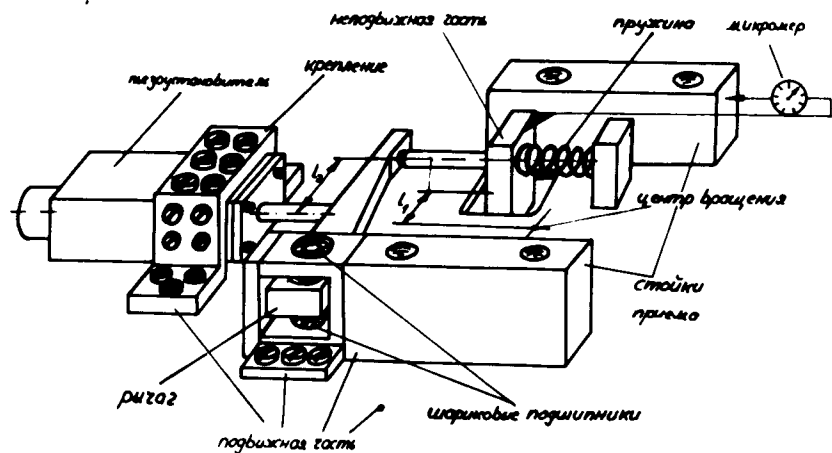


Рис.6. Функциональный принцип точного установления вращения кристалла.

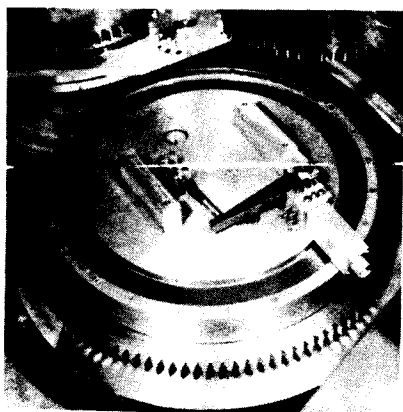


Рис.7. Общий вид точного пьезоустановителя.

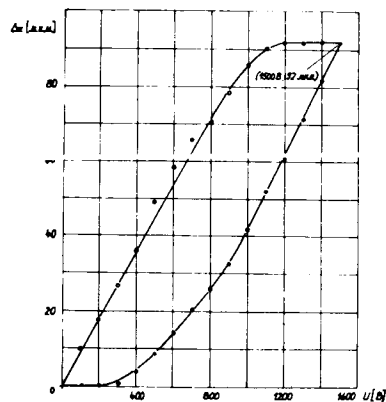
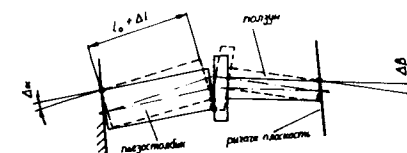


Рис.8. График измерения хода кристалла при максимальном напряжении 1500 В с числом рычажной передачи $i_H = 5,6$.

щегося основного привода. Точный привод обеспечивает установление угла движения кристалла в пределах $\Delta\theta \leq \pm 1,5'$ за счет передаточного числа рычага $i_H = 5,6$. Передаточное число легко изменяется за счет длины рычага. Рычаг действует в направлении, противоположном пружине в основном приводе, которая расположена так, что может устранять зазор и обеспечивать замкнутую цепь. Эксперименты показали, что особое внимание надо обращать на то,

Рис.9. Определение ошибки наклона при неверном ходе толкателя пьезопривода.



чтобы ось вращения рычага и крепление пьезопривода были изготовлены с большой точностью и образовывали жесткое сочленение. Прогиб рычага мы сокращали до минимума в процессе конструирования прибора. Рис.8 показывает ход ведомого элемента точного установления до номинального значения напряжения 1,5 кВ. Очевидно, что измерение под нагрузкой дало лишь 50% ожидаемого хода ведомого элемента /см. рис.5/. Потери объясняются действием остаточных упругостей, а также тем, что применяемые проводочные подшипники не обладают идеальной радиальной жесткостью. Таким образом оказалось, что боковые перемещения в диапазоне нескольких мкм допустимы. Толкатель пьезоустановителя должен быть смонтирован настолько жестко, чтобы не были допущены ошибки наклона /рис.9/. Самый маленький шаг коррекции задает для выбранного передаточного числа величину $0,23''$. Нулевая позиция выбирается при напряжении 600 В. Исходя из этого напряжения, в обоих направлениях вращения можно перемещать кристалл-столлик на величину угла Брэгга $\Delta\theta \leq 1,5'$. Для вычисления требуемой коррекции с помощью микро-ЭВМ накапливается как многочлен кривая гистерезиса /рис.8/. Это необходимо для оценки начальных данных перед движением кристалл-столика. Определение окончательного значения угла Брэгга производится итерационным путем с использованием лазерного интерферометра.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью системы точной регулировки разработан прецизионный привод, реализующий углы Брэгга порядка секунд, который можно применять и в других случаях, используя преимущества таких установителей в цепях регулирования. Выбор передаточного числа рычажной передачи позволяет варьировать точную позиционную чувствительность системы и тем самым удовлетворять различным условиям задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мюллер М., Пильц Р., Щорнак Г. ОИЯИ, P13-81-698, Дубна, 1981.
2. Spanner K., Dietrich L. *Feinwerktechnik*, 1979, 87, S.181.
3. Peterson A. *Feinwerktechnik*, 1978, 86, S.304.

4. Eder F.X. Moderne Meßmethoden der Physik, Bd.1, Akustik, Berlin, 1960.
5. Prospekt Piezolan. VEB Keramische Werke Hermsdorf, 1975.
6. Müller G., Karrasch G., Zschornack G. Gemeinsamer Jahresbericht, 1981, ZfK-488, S.201.
7. Bedienungsanleitung IPS, VEB Carl Zeiss Jena.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июля 1983 года.

Карраш Г. и др. P13-83-484
 Пьезопривод для точного установления угла
 кристалл-анализатора в кристалл-дифракционных спектрометрах

Описывается основной привод для кристалл-дифракционного спектрометра типа Брэгга с вращающимся кристаллом. Достигнутое основное установление угла кристалла приблизительно равно $1''$. Представлен связанный с основным приводом привод точного установления угла. Он базируется на пьезоэлектрическом принципе и задает величину углового положения с точностью $\leq 1''$. Предлагается конструктивный вариант пьезопривода и преобразователя величины перемещения в величину поворота кристалла.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Karrasch G. et al. P13-83-484
 A Piezo-Drive for the Fine Adjustment of Crystals
 in Crystal Diffraction Spectrometers

A short description is given of the main drive of a crystal-diffraction spectrometer of Bragg-type with a turning crystal. The reached basic position of the main drive is approximately $1''$. The presented fine adjustment is coupled with the main drive. It is based on the principle of piezoelectricity and it gives the desired fine position in the range of $\leq 1''$. A variant of construction of the piezo-drive and of the transmission of motion value is recommended.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой