

05

Эффект памяти пьезоэлектрической деформации в монокристаллах кварца

© Е.Г. Лапин

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН,
Гатчина Ленинградской области
E-mail: ssy@npi.spb.ru

Поступило в Редакцию 4 августа 2008 г.

Дано описание нового экспериментально обнаруженного эффекта памяти пьезоэлектрической деформации в монокристаллах кварца. Показано, что пьезоэлектрическая деформация, возникающая при помещении таких кристаллов в электрическое поле, может сохраняться в течение довольно продолжительного времени (десятки часов) и после того, как поле снято. Специально изучено влияние ионизирующего излучения на обнаруженный эффект.

PACS: 61.05.Cр

В работе [1] еще в 1938 г. было обнаружено существенное влияние сильного электрического поля, приложенного к кварцевому кристаллу, на интенсивность дифракционных рентгеновских линий. В работе [2] это влияние объяснено эффектом пьезоквазимозаичности. Там же подробно исследовано влияние этого эффекта на дифракцию рентгеновского излучения. Суть явления заключается в появлении неоднородной пьезоэлектрической деформации (например, изгиба) кристаллографических плоскостей при помещении кристалла в сильное ($E \approx 5 \cdot 10^4$ V/cm) электрическое поле. Неоднородность поля в кристалле, приводящая к такой деформации, объясняется влиянием плоских заряженных слоев, образующихся в диэлектрике при облучении ионизирующим излучением.

ем и приложении электрического поля. Изгиб отражающих плоскостей увеличивает ширину распределения по углам отдельных блоков монокристалла и, следовательно, увеличивает его отражательную способность при дифракции рентгеновского излучения, что наблюдается по увеличению интенсивности дифракционной линии.

В предлагаемой работе, являющейся продолжением изучения явления пьезоквазимозаичности, дано описание нового экспериментально обнаруженного эффекта памяти пьезоэлектрической деформации в монокристаллах кварца. Показано, что пьезоэлектрическая деформация, возникающая при помещении таких кристаллов в электрическое поле, может сохраняться в течение довольно продолжительного времени (десятки часов) и после того, как поле снято. Специально изучено влияние ионизирующего излучения на обнаруженный эффект.

Характерные величины пьезоэлектрических деформаций кварцевых пластин в указанных полях составляют десятые доли микрона, поэтому прямое измерение таких малых величин довольно затруднительно. В нашем эксперименте для наблюдения малых деформаций кристаллической решетки использовался кристалл-дифракционный метод измерений, который, обладая высокой чувствительностью, позволяет оценивать величины этих деформаций по относительным интенсивностям дифракционных линий.

Измерения проводились на двухкристальном рентгеновском дифрактометре при антипараллельном положении кристаллов. Использовалась схема дифракции по Лауэ (на прохождение) (рис. 1, *a*). Источником рентгеновского излучения служила рентгеновская трубка БСВ-2 с молибденовым анодом ($U_a = 40 \text{ kV}$, $I_a = 20 \text{ mA}$). Формирование пучка осуществлялось коллиматором длиной 380 mm и щелями $1 \times 10 \text{ mm}$. Рабочими отражающими плоскостями в кристаллах C_1 и C_2 были плоскости (130) ($d = 1.18 \text{ \AA}$). Размеры кристаллов и ориентация отражающих плоскостей относительно оптической оси моноблока показаны на рис. 1, *b*. Кристаллы помещались в электрическое поле, создаваемое источником постоянного электрического напряжения, к полюсам которого подключались электроды (обкладки) в виде алюминиевой фольги толщиной 25 μm , занимающие всю рабочую область кристалла. В качестве детектора использовался сцинтилляционный NaJ(Tl) счетчик.

Был поставлен следующий опыт: измерялась скорость счета в максимуме двухкристальной линии $K_{\alpha 1} \text{ Mo}$ ($\lambda = 0.709 \text{ \AA}$) при фиксированном напряжении U_0 на кристаллах в зависимости от времени, которое

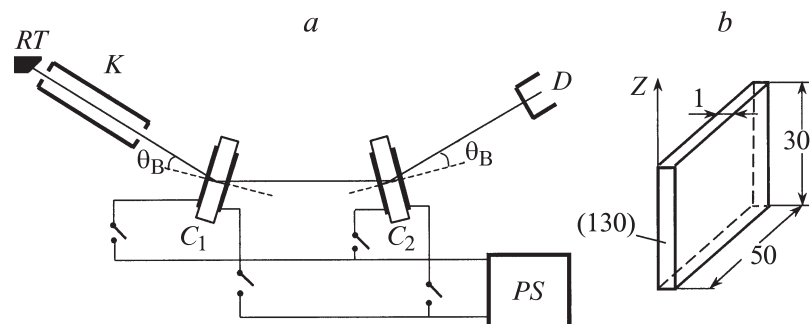


Рис. 1. *a* — схема измерений на двухкристальном рентгеновском дифрактометре. *RT* — рентгеновская трубка, *K* — коллиматор, *C*₁, *C*₂ — кварцевые кристаллы, *PS* — источник постоянного электрического напряжения, *D* — детектор, θ_B — угол Брэгга. *b* — размеры кристаллов *C*₁ и *C*₂ и ориентация отражающих плоскостей (130) относительно оптической оси *Z*.

прошло с момента подачи напряжения. Падающий пучок при этом периодически перекрывался поглотителем. Полученная зависимость показана на рис. 2.

Нулевым счетам на рисунке соответствуют периоды времени, в течение которых пучок был перекрыт. Видно, что скорость роста интенсивности значительно больше в то время, когда пучок открыт, т. е. когда кристаллы находятся в поле рентгеновского излучения (область I на рис. 2). Качественно это явление понятно, так как рентгеновское излучение служит генератором свободных зарядов внутри кристалла и ускоряет процесс образования зарядовых областей в приложенном электрическом поле.

Область II характеризует время возвращения кристаллов к исходному состоянию после того, как снято приложенное к ним электрическое напряжение (время релаксации). Видно, что интенсивность дифракционной линии не падает мгновенно до исходного значения (при $U_0 = 0$), а медленно спадает с характерным периодом $T_{1/2}^{(1)} \approx 84$ h. Другими словами, кристаллы „запоминают“ свое состояние в электрическом поле, т. е. деформацию, которая возникла за счет пьезоэффекта.

На этом же рисунке (область III) показана убыль интенсивности в максимуме двухкристальной линии при облучении кристалла *C*₁ рент-

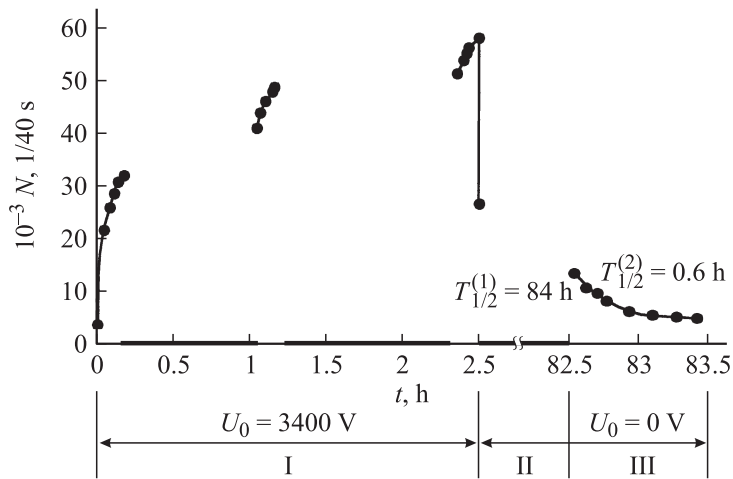


Рис. 2. Зависимость скорости счета в максимуме двухкристальной линии от времени. $T_{1/2}^{(1)}$, $T_{1/2}^{(2)}$ — характерные времена релаксации.

геновским пучком, включенным через 80 h после снятия с кристалла напряжения. Момент $t = 82.5$ h соответствует началу облучения. Наблюдается резкий спад интенсивности. Отношение характерных времен $T_{1/2}^{(1)}/T_{1/2}^{(2)} = 140$, т.е. влияние облучения на деформационное состояние кристалла весьма существенно, так как воздействие рентгеновского излучения на кристалл в отсутствие электрического поля приводит к выравниванию распределения зарядов в кристалле и, следовательно, к исчезновению изгиба отражающих плоскостей.

Особенности наблюдаемой зависимости, связанные с облучением кристалла (области I, III), позволили использовать монокристаллические кварцевые пластинки для записи информации. Демонстрационный опыт ставился следующим образом: кристалл C_1 , на который подавалось постоянное напряжение 3000 V, через кодирующую маску (в нашем эксперименте это была вольфрамовая фольга, в которой через ~ 5 mm были прорезаны три вертикальные щели ширинами 1, 2 и 3 mm) облучался расходящимся пучком рентгеновского излучения в течение одного часа. После этого напряжение с кристалла снималось, и кристалл

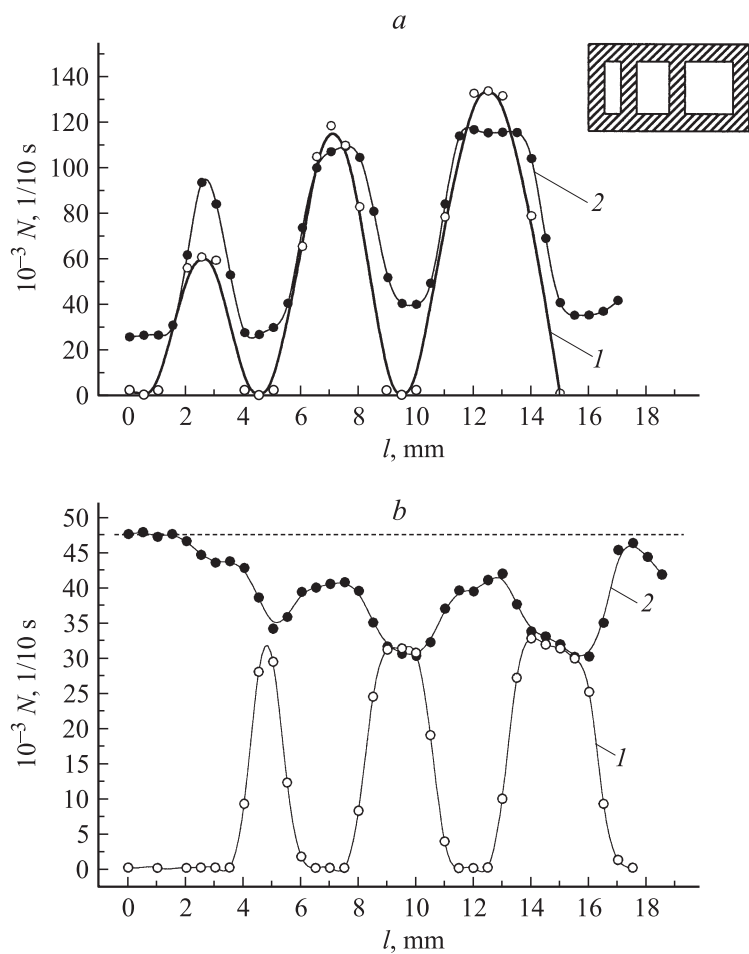


Рис. 3. Изменение интенсивности в максимуме однокристалльной линии при движении кристалла в отражающем положении относительно узкого пучка вдоль большой грани; *a*: 1 — репер, 2 — позитивная „фотография“; *b*: 1 — репер, 2 — негативная „фотография“; *l* — линейное перемещение кристалла. Сверху показана кодирующая маска.

устанавливался в рентгеновский дифрактометр (использовался описанный выше двухкристальный дифрактометр, работающий в режиме однокристалльного), затем регистрировалось изменение скорости счета в максимуме однокристалльной линии $K_{\alpha 1}Mo$ при перемещении кристалла в отражающем положении вдоль направления большой грани. Ширина „читающего“ пучка составляла 1 мм. Полученный результат представлен на рис. 3, а. На кривой 1 показано изменение скорости счета при движении кристалла с маской (репер), на кривой 2 — аналогичная зависимость при движении кристалла без маски. Из рисунка видно хорошее соответствие кривых, т.е. рентгеновский пучок „сфотографировал“ на кристалле изображение маски. Очевидно, что такой кристалл может быть использован в качестве пространственно-чувствительного детектора, например, в кристалл-дифракционных приборах. Стирание изображения, нанесенного на кристалл, производится путем облучения его без напряжения расходящимся пучком ионизирующего излучения.

Свойство излучения стирать изображение было использовано для получения негативной „фотографии“. В таком опыте вся рабочая поверхность кристалла облучалась под напряжением широким пучком рентгеновского излучения (процесс активации, аналог покрытия фотопленки светочувствительным слоем), затем напряжение с кристалла снималось, перед ним устанавливалась кодирующая маска и кристалл через маску снова облучался рентгеновским пучком. При этом участки кристалла, закрытые маской, из-за большого времени релаксации сохраняли свойство интенсивно отражать рентгеновские лучи, а места, облучаемые пучком, довольно быстро его теряли. При движении такого кристалла в дифрактометре относительно узкого (читающего) пучка интенсивность отражения повторила картину избирательного облучения¹ (рис. 3, б, кривая 2), причем щелям в маске соответствуют теперь меньшие интенсивности. Предварительно, так же как и при получении позитивной „фотографии“, проводились измерения скорости счета при перемещении кристалла с маской (рис. 3, б, кривая 1). Такие измерения исключают возможность случайной модуляции пучка, связанной, например, с несовершенством отдельных областей кристалла. Глубину модуляции интенсивности при получении негативной „фотографии“ можно регулировать режимом облучения. В принципе, используя

¹ Доза, получаемая кристаллом при чтении записанной информации, из-за малого времени измерения и хорошей коллимации читающего пучка мала, чтобы существенно изменить характер изображения.

для записи информации хорошо коллимированный (точечный) пучок ионизирующего излучения, можно получать на кристалле за счет эффекта памяти скрытое изображение произвольных плоских фигур с последующим воспроизведением и возможностью перезаписи.

Свойство кристалла изменять интенсивность отражения рентгеновского пучка за счет изменения деформационного состояния пластины при облучении может найти применение и для создания механических устройств, дистанционно управляемых внешним излучением.

Идея эксперимента была предложена профессором О.И. Сумбаевым.

Автор благодарит Г.П. Солодова за помощь при проведении измерений, а также профессора В.В. Федорова и В.В. Воронина за полезные замечания при написании статьи.

Список литературы

- [1] *Kakiuchi Y.* // Phys. Rev. 1938. V. 54. P. 772.
- [2] *Лапин Е.Г., Самсонов В.М., Солодов Г.П., Сумбаев О.И., Тюнис А.В.* Эффект пьезоквазимонохромности при дифракции рентгеновского излучения // Препринт ЛИЯФ-250. Л., 1976. 29 с. *Лапин Е.Г., Самсонов В.М., Солодов Г.П., Сумбаев О.И., Тюнис А.В.* // ЖЭТФ. 1977. Т. 73. № 3. С. 1016–1024.