

В. М. ПЕТРОВ, А. М. ШИРОКОВ

НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

Для исследования процесса переполаризации сегнетоэлектриков предлагается использовать новый метод, основанный на наблюдении изменения во времени СВЧ-диэлектрической проницаемости при подаче на образец импульса смещающего напряжения. Приводятся предварительные результаты, полученные данным методом.

Исследование процесса переполаризации сегнетоэлектриков обычно производится путем наблюдения формы импульса тока, протекающего через сегнетоэлектрический конденсатор при подаче на него перепада напряжения с коротким фронтом [1]. Для изучения переполаризации часто используются и другие принципы, основанные на зависимости ряда параметров сегнетоэлектриков от состояния поляризации образца. Так, в работе [2] использовалась зависимость пьезоэлектрической константы, в [3] — пиротока от поляризации.

Нами изучалась возможность метода, основанного на том, что у многих сегнетоэлектриков диэлектрическая проницаемость ϵ зависит от приложенного смещающего поля E — или, точнее, от поляризации, создаваемой этим полем. Если наблюдать изменение ϵ в поле высокой частоты при мгновенном наложении на сегнетоконденсатор смещающего напряжения, то картина зависимости ϵ от времени даст возможность определить время изменения поляризации и наблюдать сам процесс поляризации. Период высокочастотного поля, используемого в качестве индикатора, должен быть значительно меньше времени переполаризации. Учитывая, что последнее имеет порядок 10^{-6} сек, а в некоторых случаях может быть и меньше, заметим, что частота индикаторного поля должна быть в области СВЧ. Как показано во многих работах (например, [4]), зависимости ϵ от E — сохраняются до этих частот.

Наблюдение изменения ϵ может производиться, например, путем изучения осциллограмм протектированного СВЧ-сигнала, проходящего через резонатор с сегнетоэлектриком, на который подаются импульсы смещающего напряжения. Если при отсутствии E — резонатор настроен в резонанс и проходящая мощность максимальна, то при подаче поля происходит изменение ϵ , сдвиг резонансной частоты и уменьшение проходящей через резонатор мощности. По изменению протектированного СВЧ-сигнала можем судить об изменении поляризации сегнетоэлектрика. Недостатком такого способа индикации является слиш-

ком узкий интервал напряжений, в котором наблюдаемый сигнал пропорционален изменению ϵ , в связи с чем можно наблюдать лишь часть времени переполаризации.

Более точным и удобным оказался способ, основанный на использовании измерительной линии. Блок-схема установки, применявшейся нами, показана на рис. 1. Образец сегнетоэлектрика, имеющий плотно-прилегающие электроды, помещался в специальной насадке к коаксиальной измерительной линии, описанной в [5], между торцом центрального и крышкой внешнего проводника. Биполярные импульсы смещающего напряжения подавались от двух синхронизованных генераторов 2БИ на центральный проводник линии, изолированный со стороны СВЧ-генератора малой разделительной емкостью. СВЧ-генератор имел

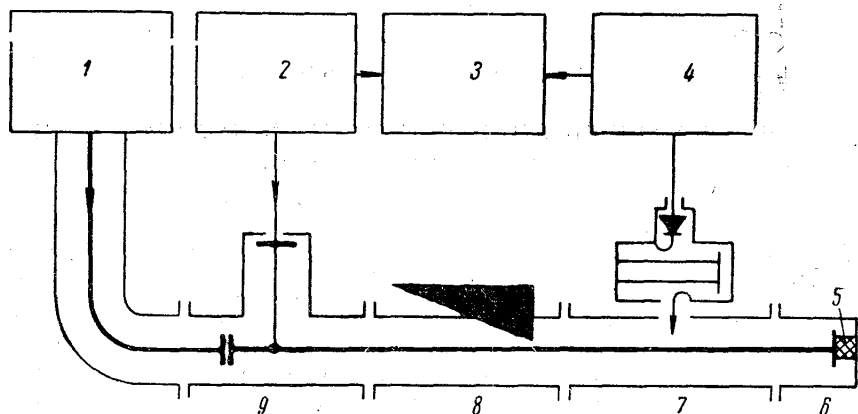


Рис. 1. Блок-схема установки для исследования переполаризации сегнетоэлектриков методом СВЧ-измерительной линии: 1—СВЧ-генератор ЛМЯ—541, 2—источник биполярных импульсов (два генератора 2БИ), 3—двухлучевой осциллограф ДЭСО-1, 4—широкополосный усилитель УР-2, 5—сегнетоэлектрический образец, 6—насадка для закрепления образца, 7—измерительная линия, 8—аттенюатор, 9—тройник для подачи смещающего напряжения

частоту 1000 мГц и мощность в несколько ватт. Протектированный СВЧ-сигнал усиливался широкополосным усилителем и наблюдался на осциллографе. Нами использовался двухлучевой скоростной осциллограф ДЭСО-1, что дало возможность видеть как протектированный импульс СВЧ-сигнала, так и подаваемый на образец импульс смещающего напряжения одновременно.

Если при отсутствии $E_{\text{з}} =$ зонд измерительной линии установить в минимум напряжения стоячих волн, то выходной СВЧ-сигнал будет практически равен нулю. При подаче на образец импульса напряжения проникаемость сегнетоэлектрика изменится, происходит смещение минимума стоячих волн, и на зонде измерительной линии оказывается отличное от нуля СВЧ-поле. Протектированный сигнал будет, грубо говоря, пропорционален изменению ϵ , а следовательно, и переполаризации сегнетоэлектрика, так как изменение проникаемости пропорционально изменению поляризации. Если фронт подаваемых импульсов $E_{\text{з}} =$ значительно короче, а длительность больше времени переполаризации, то на экране осциллографа будем видеть процесс изменения поляризации при заданном напряжении.

Для проверки метода нами сделаны предварительные исследования

переполяризации некоторых керамических сегнетоэлектриков (ВК-1, ВК-3, 28М), монокристаллов BaTiO_3 и сегнетовой соли.

На рис. 2 приведена типичная осциллограмма для сегнетоэлектриков типа BaTiO_3 . Изменение ϵ у этих материалов обусловлено ориентацией доменов смещающим полем и разницей проницаемости домена в направлении поляризации и в перпендикулярном направлении [4]. Следовательно, картина протектированного СВЧ-сигнала в данном случае отражает процесс переориентации доменов. Этот процесс состоит из двух этапов: 1) медленного зарождения доменов с выгодным направлением спонтанной поляризации; 2) быстрого прорастания этих областей по объему образца [1]. Первый этап, не связанный с большим объемом переориентированных доменов, может не вызывать отклонения луча и отражаться как временной сдвиг между передними фронтами входного и выходного импульсов. Как видно из рис. 2, сдвиг между этими импульсами менее 0,1 мксек. Возникновение такого сдвига, возможно, связано с искажениями в переходных цепях.

Неожиданным явилось то, что время переполяризации всех изученных нами сегнетоэлектриков, измеренное по длительности фронта протектированного СВЧ-импульса, оказалось меньше — порядка 0,1 мксек. Этот результат не согласуется с данными предыдущих работ, откуда известно, что время переориентации доменов в монокристаллах BaTiO_3

составляет несколько микросекунд [1]. Возможно, такое расхождение обусловлено разницей размеров образцов. Процесс переполяризации, сопровождающийся механическими деформациями кристалла, по-видимому, зависит от размеров и формы образца, частоты собственных механических колебаний. Не исключено поэтому, что время переполяризации очень малых образцов, применявшихся нами (порядка $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ мм}^3$), оказалось значительно ниже изучавшихся ранее более крупных образцов. Чтобы сделать окончательные выводы, эти предварительные результаты должны быть проверены более тщательно.

На рис. 3 приведены осциллограммы для сегнетовой соли при различных длительностях подаваемых импульсов и напряженности поля $E = 3 \text{ кВ/см}$. Существенным отличием этой картины от поляризации сегнетоэлектриков типа BaTiO_3 является наличие осцилляций вершины выходного импульса. Частота этих осцилляций точно соответствует рассчитанной для данного образца частоте собственных механических колебаний и варьируется при изменении площади образца. Так, для образца площадью $2 \times 2 \text{ мм}^2$ частота осцилляций равна 1,0 мГц, площадью $1,3 \times 1,0 \text{ мм}^2$ — 1,7 мГц (толщина образцов 0,4 мм). Нет сомнения, что эти осцилляции обусловлены модуляцией диэлектрической проницаемости за счет механических колебаний образца, ударно возбуждаемых импульсом смещающего поля (СВЧ-проницаемость сегнетовой соли сильно зависит от давления [6]). Весь процесс изменения ϵ в сегнетовой соли (исключая осцилляции) устанавливается за время не бо-

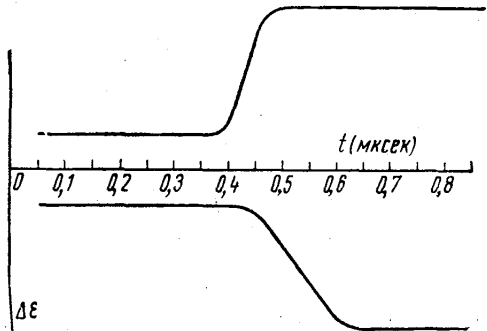


Рис. 2. Осциллограмма поляризации сегнетоэлектриков типа BaTiO_3 при $E \approx 3 \text{ кВ/см}$. Вверх отложен подаваемый импульс смещающего напряжения, вниз — протектированный СВЧ-сигнал с зонда линии

лее 0,1 мксек, тогда как время переориентации доменов, как известно, порядка 10 мксек. Такое расхождение объясняется тем, что зависимости СВЧ-проницаемости сегнетовой соли от смещающего поля обусловлены не изменением доменной, а насыщением индуцированной поляризации [6], и наблюдаемая картина отражает установление индуцированной поляризации, а не переориентацию доменов, как у BaTiO₃.

Предлагаемый метод неприменим к сегнетоэлектрикам, у которых СВЧ-диэлектрическая проницаемость не зависит от смещающего поля (например, гуанидиналюминийсульфат). Метод не дает возможности наблюдать переориентацию доменов в материалах типа сегнетовой со-

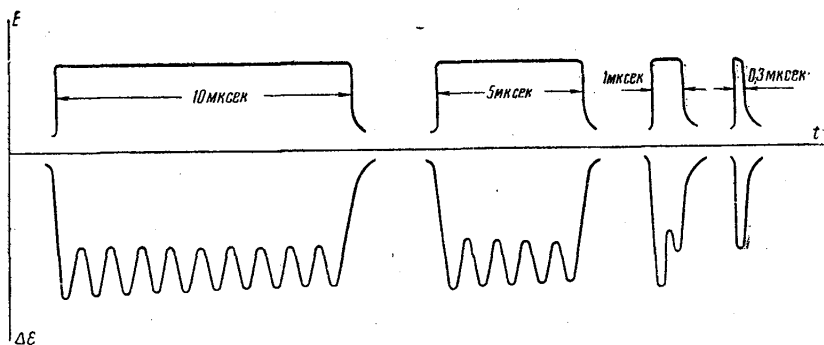


Рис. 3. Осциллограммы поляризации образца сегнетовой соли размером $2 \times 2 \times 0,4 \text{ мм}^3$ при $E = 3 \text{ кв/см}$

ли, обладающих только двумя возможными направлениями спонтанной поляризации. Однако он может быть эффективно использован при изучении переполаризации доменов сегнетоэлектриков типа BaTiO₃, где проницаемость чувствительна к изменениям доменной структуры. СВЧ-метод имеет преимущество перед обычным [1], так как дает возможность наблюдать начальный этап переполаризации, который маскируется в обычном методе током через емкость, обусловленную индуцированной поляризацией. По-видимому, целесообразно применять предлагаемый метод параллельно с обычным методом и наблюдать ток переполаризации и картину изменения ϵ одновременно.

В заключение выражаем глубокую благодарность М. Д. Карасеву за руководство настоящей работой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Merz W. J. Phys. Rev., **95**, 690—698, 1954; J. Appl. Phys., **27**, 938—943, 1956; Сб. «Физика диэлектриков». Изд-во АН СССР, М., 1960, 286.
2. Husimi K., Kataoka K. J. Appl. Phys., **29**, 1247—1251, 1958.
3. Chynoweth A. G. J. Appl. Phys., **27**, 78—84, 1956.
4. Петров В. М. «Физика твердого тела», **2**, 997—1001, 1960; «Вопросы радиоэлектроники», сер. III, вып. 5—6, 137—141, 1960.
5. Иванов И. В., Петров В. М. «Изв. АН СССР», сер. физическая, **22**, 1524—1526, 1958; «Вопросы радиоэлектроники», сер. III, вып. 5—6, 167—174, 1960.
6. Петров В. М. «Кристаллография», **7**, 3 (в печати).

Поступила в редакцию
24. 6 1962 г.

Кафедра
теории колебаний