

Е. В. СИНЯКОВ и И. А. ИЖАК

# ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОКЕРАМИКИ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 10 IX 1954)

Впервые зависимость диэлектрической проницаемости титаната бария от гидростатического давления изучалась Б. М. Вулом и Л. Ф. Верещагиным <sup>(1)</sup>. Исследования, проведенные в широком диапазоне давлений, показали, что диэлектрическая проницаемость возрастает с увеличением давления, причем относительное изменение ее  $\left(\frac{1}{\epsilon} \frac{\Delta \epsilon}{\Delta P}\right)$  при давлениях от 300 до 2000 атм. составляет  $1,2 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/кг.

Исследованиями на монокристаллических образцах <sup>(2)</sup> установлено, что точка Кюри титаната бария при увеличении гидростатического давления смещается в сторону низких температур на величину  $-5,8 \cdot 10^{-3}$  град/атм, а пик диэлектрической проницаемости в температурном ходе возрастает с увеличением давления. В настоящей

работе предпринято изучение зависимости диэлектрических свойств сегнетокерамики от одностороннего давления. Ниже приводятся основные результаты этого исследования.

1. Зависимость диэлектрического гистерезиса и спонтанной поляризации от давления. На рис. 1 приведена фотография петель гистерезиса сегнетокерамики, снятых на частоте 50 гц при различных давлениях ( $t = 18^\circ$ ). Величины общей, спонтанной и индуцированной поляризации, вычисленные графически по петлям гистерезиса,

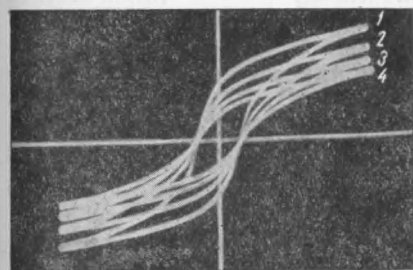


Рис. 1. 1 — без давления; 2 — 200 кг/см<sup>2</sup>; 3 — 400 кг/см<sup>2</sup>; 4 — 600 кг/см<sup>2</sup>

сведены в табл. 1. Как видно из таблицы, с увеличением давления уменьшается как общая, так и спонтанная поляризация. Индуцированная поляризация при этом остается почти постоянной. Относительное изменение поляризации с увеличением давления уменьшается. Слабое влияние механического давления на индуцированную поляризацию свидетельствует о том, что действие давления в основном сводится к созданию механических деформаций образца, затрудняющих переориентацию спонтанных областей в электрическом поле.

Таблица 1

Зависимость поляризации от давления

| Давление,<br>кг/см <sup>2</sup> | Поляризация (в усл. ед.) |          |          |
|---------------------------------|--------------------------|----------|----------|
|                                 | общая                    | спонтан. | индуцир. |
| 0                               | 18,7                     | 14,0     | 4,7      |
| 200                             | 15,8                     | 11,0     | 4,8      |
| 400                             | 13,7                     | 8,9      | 4,8      |
| 600                             | 11,9                     | 7,2      | 4,7      |

2. Зависимость диэлектрической проницаемости от давления в слабом поле на высокой частоте. На рис. 2 приведен температурный ход диэлектрической проницаемости, измеренной при различных давлениях в слабом поле на высокой частоте ( $10^6$  гц). Как видно из рисунка, диэлектрическая проницаемость умень-

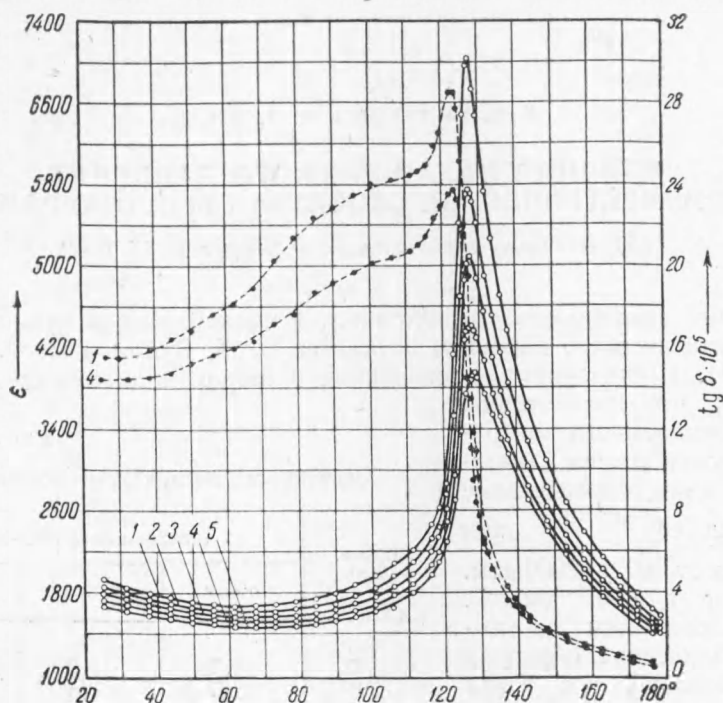


Рис. 2. 1 — без давления; 2 — 200 кг/см<sup>2</sup>; 3 — 400 кг/см<sup>2</sup>; 4 — 600 кг/см<sup>2</sup>; 5 — 800 кг/см<sup>2</sup>

шается с увеличением давления при всех исследованных температурах, причем максимальное уменьшение наблюдается в точке Кюри. Относительное изменение диэлектрической проницаемости  $\left(\frac{1}{\epsilon} \frac{\Delta \epsilon}{\Delta p}\right)$  уменьшается с увеличением давления, что особенно явно заметно в точке Кюри. Средняя величина относительного изменения  $\epsilon$  при комнатной температуре равна  $-1,7 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/кг, а в точке Кюри  $-5,4 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/кг. Таким образом, относительное изменение диэлектрической проницаемости при одностороннем давлении противоположно по знаку изменению, вызываемому всесторонним гидростатическим давлением, и на порядок больше по величине.

Одностороннее давление влияет также на величину диэлектрических потерь сегнетокерамики. Как видно из рис. 2 (пунктирные кривые), диэлектрические потери в сегнетоэлектрической области с увеличением давления уменьшаются.

3. Зависимость диэлектрической проницаемости от давления в сильном поле частоты 50 гц. На рис. 3 приведен температурный ход диэлектрической проницаемости, измеренной на частоте 50 гц, в поле 700 в/см при различных давлениях. Здесь, как и на высокой частоте, диэлектрическая проницаемость при всех температурах с увеличением давления уменьшается, но относительное изменение ее больше. При комнатной температуре это изменение составляет  $-3,10 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/кг, а в точке Кюри  $-5,8 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/кг. Объясняется это тем, что давление в основном влияет на величину спонтанной поляриза-

ции, а так как спонтанная поляризация сильнее проявляется при более высоких полях, то очевидно, что влияние давления на величину диэлектрической проницаемости в сильном электрическом поле должно сказаться сильнее, что и наблюдается на опыте.

4. Зависимость диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля при различ-

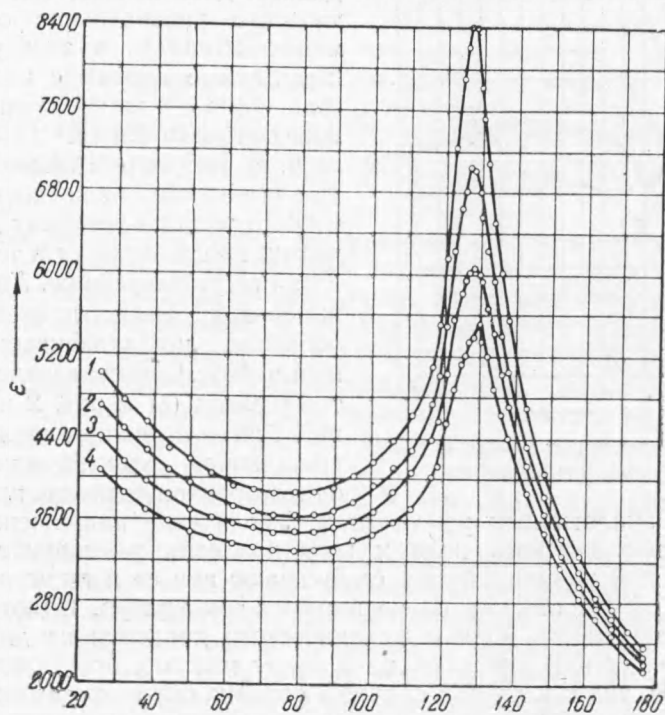


Рис. 3. 1 — без давления; 2 — 200 кг/см²; 3 — 400 кг/см²; 4 — 600 кг/см²

ных давлений. На рис. 4 представлена зависимость диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля частоты 50 гц при различных давлениях. Как видно из рисунка, диэлектрическая проницаемость с ростом давления уменьшается при всех исследуемых полях. Поле, при котором диэлектрическая проницаемость достигает максимального значения, с повышением давления смещается в сторону более высоких полей, а сам максимум сглаживается. Этот результат качественно можно объяснить тем, что, механическое давление вызывает деформации в образце, которые затрудняют переориентацию спонтанных областей, и поэтому необходимо более высокое электрическое поле для того, чтобы поляризация достигла насыщения, а диэлектрическая проницаемость — своего максимального значения.

5. Зависимость температуры Кюри от давления. Из температурного хода диэлектрической проницаемости, снятого при различных давлениях (рис. 2 и 3), можно определить влияние давления на температуру Кюри.

В противоположность гидростатическому давлению, одностороннее сжатие смещает точку Кюри в сторону более высоких температур, причем это смещение равно приблизительно  $2,8 \cdot 10^{-3}$  град·см²/кг. Термодинамическое рассмотрение вопроса о смещении точки Кюри в результате одностороннего растяжения и сжатия впервые дано в работе (³). В этой работе теоретически предсказано смещение точки Кюри в сторону

более высоких температур с увеличением механических напряжений и дана оценка величины этого смещения (порядка  $6 \cdot 10^{-2}$  град  $\cdot$  см<sup>2</sup>/кГ).

Экспериментальные значения смещения точки Кюри оказались значительно ниже теоретических, хотя знак смещения подтверждается на опыте. Но полного сопоставления экспериментальных и теоретических данных дать нельзя, так как теоретическое рассмотрение относится к монокристаллам, а экспериментальные данные получены на керамических образцах изготовленных на основе титаната бария.

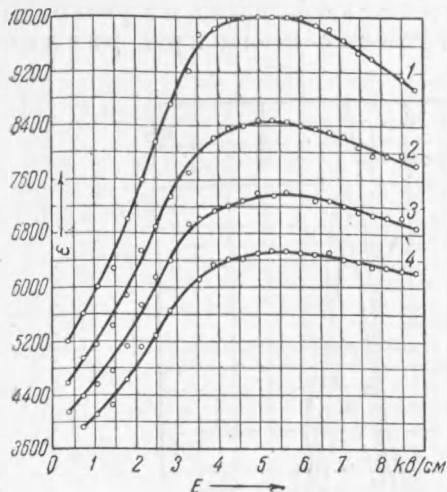


Рис. 4. 1 — без давления; 2 — 200 кг/см<sup>2</sup>; 3 — 400 кг/см<sup>2</sup>; 4 — 600 кг/см<sup>2</sup>

6. В работе <sup>(4)</sup> приводятся данные о влиянии смещающего электрического поля на величину диэлектрической проницаемости и температуру Кюри сегнетокерамики. Аналогичные измерения были приведены и на образцах, исследованных в настоящей работе. Сопоставление результатов работы <sup>(4)</sup> с рис. 2 и 3 настоящей статьи позволяет заключить, что смещающее электрическое поле и одностороннее давление приводят качественно к аналогичным результатам. Увеличение напряженности смещающего электрического поля и рост давления уменьшают величину диэлектрической проницаемости, сглаживают пик ее и вызывают смещение точки Кюри в сторону более высоких температур. Однотипное воздействие смещающего поля и механического давления на диэлектрические свойства сегнетокерамики, по нашему мнению, происходит от того, что как в том, так и в другом случае в образце сегнетокерамики возникают механические деформации, которые, во-первых, затрудняют переориентацию спонтанных областей, что ведет к уменьшению величины диэлектрической проницаемости, и, во-вторых, увеличивают анизотропию элементарных ячеек, что затрудняет переход к решетке кубической симметрии, и стало быть, повышает температуру Кюри.

В заключение отметим, что все измерения, приведенные в настоящей работе, выполнены на образцах одной технологической партии. Аналогичные зависимости получены и на других технологических партиях, хотя степень влияния давления на диэлектрические свойства и величину смещения точки Кюри различны для различных технологических партий. На образцах некоторых технологических партий сегнетокерамики влияние давления на диэлектрические свойства, особенно в слабых полях при комнатной температуре, почти не проявляется.

Днепропетровский государственный университет

Поступило  
6 VII 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. М. Вул, Л. Ф. Верещагин, ДАН, 48, № 9, 662 (1945). <sup>2</sup> W. Merz, Phys. Rev., 78, 52 (1950). <sup>3</sup> Л. П. Холоденко, М. Я. Ширококов, ЖЭТФ, 21, 11, 1250 (1951). <sup>4</sup> Е. В. Синаков, Е. А. Стафийчук, Л. С. Синегубова, ЖЭТФ, 21, 12, 1396 (1951).