Доклады Академии наук СССР
1955. Том 100, № 1

*ФИЗИКА*

Т. Н. ВЕРБИЦКАЯ

# СЕГНЕТОКЕРАМИКА С РЕЗКО ВЫРАЖЕННЫМИ НЕЛИНЕЙНЫМИ СВОЙСТВАМИ

*(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 7 VI 1954)*

За последние годы значительно расширяются области применения керамических сегнетоэлектриков. Особый интерес представляет использование сегнетокерамики в качестве нелинейных элементов в различной радио- и электроаппаратуре. Нелинейные свойства сегнетоэлектриков проявляются в зависимости их диэлектрической проницаемости от напряженности переменного и постоянного смещающего поля. При увеличении переменного напряжения диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = f(E_{\sim})$ возрастает, достигает предельного значения, затем снижается. При увеличении постоянного смещающего поля реверсивная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = f(E_{=})$, измеренная при слабом переменном напряжении, уменьшается. Степень нелинейности различных сегнетоэлектриков неодинакова. Для некоторых материалов нелинейность заметно проявляется в области слабых полей, для других в области достаточно высоких полей (см. рис. 1). Нелинейные свойства сегнетоэлектриков меняются при изменении окружающей температуры.

Большой интерес представляют материалы, нелинейные свойства которых проявляются достаточно резко в области слабых полей. К таким материалам относится сегнетова соль.

Возрастание диэлектрической проницаемости сегнетовой соли от начального значения до максимального происходит в области очень слабых полей до 100 в/см. Нелинейные свойства ее проявляются в сравнительно узком интервале температур (от $-15$ до $+24°$). Нестабильность электрических свойств сегнетовой соли при механических воздействиях, изменениях температуры, низкая температура разложения и ряд других особенностей не позволяют использовать в технике в качестве нелинейных элементов эти кристаллы, несмотря на их высокие нелинейные свойства.

Из сегнетокерамических материалов, получивших в настоящее время практическое применение, широко известны титанат бария и материал Т-7500. Оба материала обнаруживают изменение диэлектрической проницаемости от напряженности поля.

При увеличении переменного напряжения диэлектрическая проницаемость титаната бария $\varepsilon = f(E_{\sim})$ возрастает от начальных значений при 20° и $E = 10$ в/мм, равных $1500 \div 2000$, до максимальных $\varepsilon_{макс}$. При этом диэлектрическая проницаемость увеличивается в $3{,}5 \div 4$ раза и достигает максимального значения, равного $6000 \div 8000$ при напряженности переменного поля $4 \div 8$ кв/см.

Для материала Т-7500, вследствие наличия старения установлена нестабильность во времени характеристик зависимости диэлектрической проницаемости от напряжения. Для свежеприготовленных образ-

цов из материала Т-7500 нелинейные свойства значительно выше, чем для образцов, подвергавшихся старению. Диэлектрическая проницаемость материала Т-7500 в области комнатных температур в слабых полях имеет сравнительно высокие значения около 4000—5000 (при отсутствии посторонних примесей). При напряженности переменного поля 3—4 кв/см диэлектрическая проницаемость материала Т-7500 достигает максимального значения $\varepsilon_{макс} = 6000 \div 7500$. Таким образом, диэлектрическая проницаемость при изменении переменного поля увеличивается в $1{,}5 \div 2$ раза.

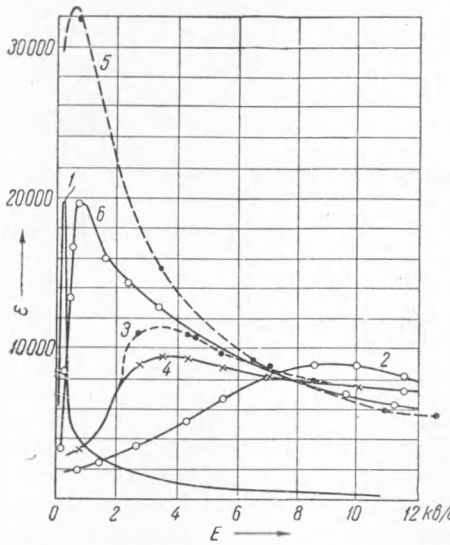



Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков от напряженности переменного поля. *1* — сегнетова соль; *2* — $BaTiO_3$, по данным Б. М. Вула; *3, 4* — $BaTiO_3$ (осциллографическим и мостовым методом); *5, 6* — вариконд ВК-1 (осциллографическим и мостовым методом)

Значительно более высокими нелинейными свойствами в области слабых полей, чем все известные ранее керамические сегнетоэлектрики, отличается разработанный нами сегнетокерамический материал, получивший название вариконд ВК-1. Для вариконда ВК-1, начиная с очень слабых полей, наблюдается резкое и притом линейное возрастание диэлектрической проницаемости при увеличении напряженности переменного поля. Диэлектрическая проницаемость достигает максимальных значений $\varepsilon_{макс}$ до 20000 при напряженности поля $0{,}5 \div 0{,}7$ кв/см. При этом диэлектрическая проницаемость от начальных до максимальных значений увеличивается в $4 \div 5$ раз.

Из сопоставления графиков зависимости диэлектрической проницаемости от напряженности поля для различных сегнетоэлектриков (см. рис. 1 и 2) легко установить, что по нелинейным свойствам материал вариконд ВК-1 приближается к сегнетовой соли (измерение диэлектрической проницаемости керамических сегнетоэлектриков производилось мостовым и осциллографическим методом. Данные для сегнетовой соли заимствованы из [1]).

Для использования нелинейных элементов в различных радиотехнических схемах существенно изменение реверсивной диэлектрической проницаемости от напряженности постоянного смещающего поля $\varepsilon = f(E_{=})$ (см. рис. 2). Для материалов с высокими нелинейными свойствами характер этой зависимости в большой степени определяется величиной переменного напряжения, при котором производится измерение диэлектрической проницаемости.

Для титаната бария в области слабых напряженностей переменного поля до 1 кв/см реверсивная диэлектрическая проницаемость при увеличении постоянного смещающего поля от нуля до $5 \div 6$ кв/см снижается незначительно — на $3 \div 15\%$.

Для материала Т-7500 в тех же условиях $\varepsilon$ для свежеприготовленных образцов снижается в 3 и более раз, а для состарившихся образцов это изменение становится меньше, и характер зависимости $\varepsilon = f(E_{=})$ изменяется.

Материал вариконд ВК-1 обнаруживает значительное изменение

реверсивной диэлектрической проницаемости в области слабых переменных и постоянных полей. Так, при оптимальных условиях $E_{\sim} = 0{,}5 \div 0{,}7$ кв/см наблюдается снижение диэлектрической проницаемости в 4—5 раз при изменении постоянного смещающего поля от

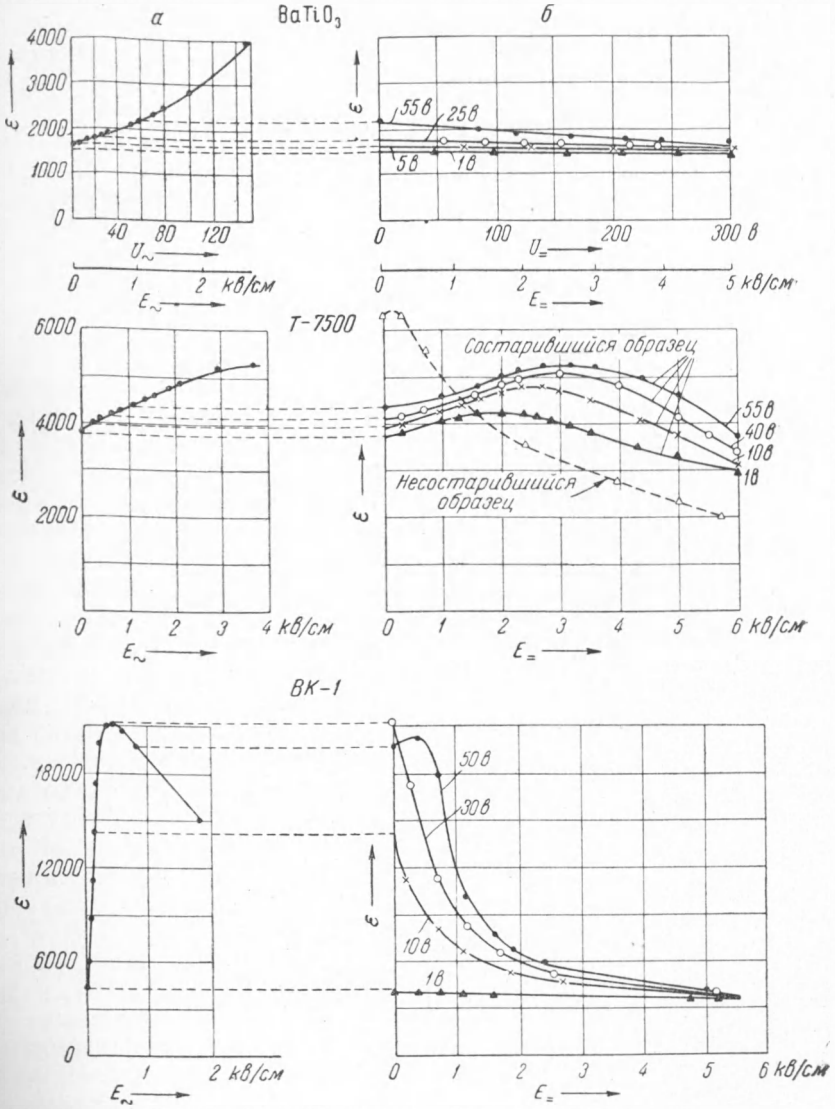



Рис. 2. Зависимость диэлектрической проницаемости ε сегнетоэлектриков при частоте 1000 гц. *а* — от переменного напряжения $U_{\sim}$; *б* — от постоянного смещающего поля $E_{=}$

нуля до $2 \div 2{,}5$ кв/см. Применение более высоких переменных или постоянных напряженностей поля может привести к снижению нелинейных свойств вариконда ВК-1.

Нелинейные свойства вариконда ВК-1 сохраняются достаточно высокими в области частот до $1 \div 10$ Мгц при слабых напряженностях поля. Последнее будет в значительной мере способствовать применению нового сегнетокерамического материала в различных радиотехнических схемах, например для создания диэлектрического усилителя, для целей частотной модуляции и многих других.

Высокие нелинейные свойства вариконда ВК-1 позволили нам разработать безламповый диэлектрический усилитель, предназначенный для усиления звуковых частот. Усиливаемый сигнал снимается с граммпластинки при помощи адаптера. В этом случае входной сигнал мощностью до 50 μвт усиливается до 250 мвт, т. е. коэффициент усиления по мощности достигает 5000.

Поступило
17 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] У. Кэди, Пьезоэлектричество и его применение, ИЛ, 1949.