

## ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ KCl—KBr

А. В. БАРАНОВ, Т. К. КОЧЕРБАЕВ

(Представлена доктором техн. наук Г. А. Воробьевым)

Компоненты системы KCl—KBr при комнатной температуре во всех составах полностью взаимно растворимы [1—3]. Рентгенографическим исследованием было показано, что критическая температура взаимного растворения компонент этой системы в твердом состоянии находится ниже  $-90^\circ$  [1]. Согласно теоретическим вычислениям, эта температура составляет около  $-50^\circ\text{C}$  [2]. Кривая взаимной растворимости компонент системы KCl—KBr, полученная на основании полуэмпирических вычислений, асимметрична относительно эквимолярного состава и максимум в этой кривой соответствует составу 42 мол% KBr в KCl [3]. Такая асимметричность кривой объяснялась тем, что ионы Br легче замещаются ионами Cl, чем наоборот.

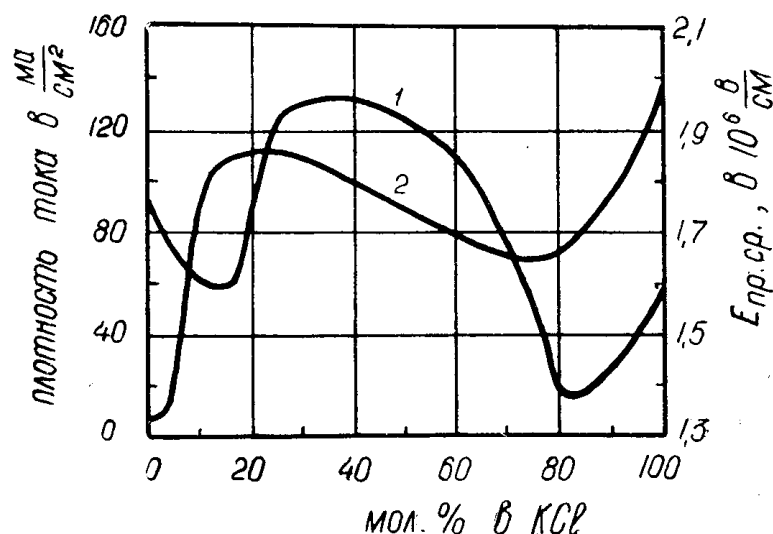


Рис. 1. Зависимости электрической прочности (кривая 1) и плотности тока (кривая 2) от состава твердых растворов системы KCl—KBr.

Рентгенографическими исследованиями было показано, что наибольшая плотность дефектов решетки соответствует составам между 30—40 мол% KBr в KCl [4].

Относительный максимум интенсивности поглощения энергии  $F$ -центрами также находится между 30—40 мол % КВг в КС1 [5].

Нами была исследована зависимость электрической прочности твердых растворов К (С1, Вг) от их состава [6]. Электрическая прочность имеет максимальное значение при 30—40 мол % КВг в КС1, а наименьшая электрическая прочность соответствует составу 18 мол % КС1 в КВг (рис. 1, 1). Развитие электронной лавины, приводящее к электрическому пробое твердого диэлектрика, зависит от интенсивности ударной ионизации, производимой электронами. Дефекты кристаллической решетки в твердых диэлектриках затрудняют развитие электронной лавины путем захвата и рассеивания электронов; длина пути между двумя ионизационными столкновениями электрона при прочих равных условиях в твердых растворах больше, чем в совершенном кристалле. Поэтому хотя в твердых растворах связь между ионами слабее, чем в чистых кристаллах, для пробоя твердых растворов с полностью взаиморастворимыми компонентами необходимо повышенное электрическое поле.

Ниже мы обсуждаем вопрос о проводимости твердых растворов К (С1, Вг) в сильном импульсном электрическом поле. Монокристаллы твердых растворов выращивались из расплава методом Киропулоса. Исходными материалами служили КС1 и КВг марки «ЧДА».

Химический состав твердых растворов определялся методом потенциометрического титрования с точностью 1—2%. Образцы изготовлялись по методу [7], и ток в этих образцах измерялся при напряженности поля  $1,5 \cdot 10^6$  в/см по методике [8].

Полученные результаты показали, что проводимости твердых растворов К (С1, Вг) в зависимости от их состава изменяются также по асимметричной кривой (рис. 1, 2) с относительным максимумом и минимумом, соответственно при 15 мол % КВг в КС1 и 19 мол % КС1 в КВг. Проводимость твердых растворов, обогащенных КС1, больше, чем проводимость твердых растворов, богатых КВг, за исключением твердых растворов с малым содержанием (до 10 мол %) одной компоненты в другой. Для твердых растворов, богатых КС1, и для твердых растворов, богатых КВг, напряженность приложенного поля составляла, соответственно, 70% и 85—95% — от напряженности, со-

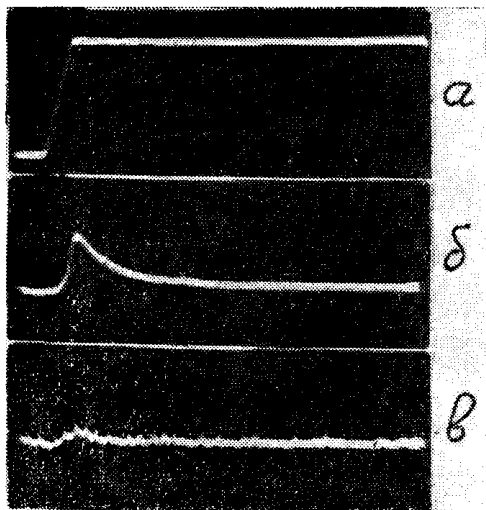


Рис. 2. Осциллограммы напряжения и токов; *a* — приложенное импульсное напряжение; *б* — ток в первом импульсе; *в* — ток во втором импульсе (токи измерялись в образце твердого раствора 10 мол % КВг в КС1).

ответствующей 90% вероятности их электрического пробоя.

Таким образом, хотя напряженность приложенного поля для твердых растворов с большим содержанием КС1 относительно мала, их проводимость больше, чем проводимость твердых растворов, обогащенных КВг. Видимо, для твердых растворов, богатых КС1, точечные дефекты кристаллической решетки влияют на их проводимость. Поскольку плотность точечных дефектов больше в составах, богатых КС1, и подвижность вакансий положительных ионов больше по сравнению с подвиж-

ностью вакансий отрицательных ионов, то можно предполагать, что в этих твердых растворах при подаче импульса напряжения в прикатодных областях быстрее создается положительный заряд, который увеличивает выход электронов из катода.

Сравнение зависимости электрической прочности ( $E_{пр}$ ) и плотности тока от состава твердых растворов показывает, что  $E_{пр}$  твердых растворов не определяется их проводимостью в предпробивных полях. Измерения проводимости свежих чистых кристаллов KCl и KBr и их твердых растворов при нескольких последовательных импульсах одинакового напряжения показывают, что большой ток наблюдается только в первом импульсе; во втором импульсе амплитуда тока уменьшается в 3--4 раза. На рис. 2 показаны характерные осциллограммы тока, полученные при подаче первого и второго импульса напряжения на образцам твердого раствора состава 10 мол% KBr в KCl.

После высокотемпературного отжига (искусственное старение при 650°C в течение 10 час.) ток наблюдается и при последующих импульсах, причем амплитуда тока медленно падает от импульса к импульсу. Кривая для плотности тока, приведенная на рис. 1, 2, построена по значениям амплитуды токов, полученных для неотожженных образцов, при подаче первого импульса. Амплитуда тока, наблюдаемая при подаче первого импульса в неотожженных образцах больше, чем у отожженных. Это акалогично тому факту [9], что в кристаллах AgCl после закалки наблюдалось сильное увеличение ионной проводимости.

Медленный спад амплитуды тока в отожженных образцах, наблюдаемый при подаче последовательных импульсов напряжения, показывает, что в сильном электрическом поле в кристаллических диэлектриках основными носителями тока являются электроны.

В неотожженных кристаллах при подаче таких импульсов напряжения в результате захвата электронов ловушками происходит формирование отрицательного объемного заряда, который тормозит выход электронов из катода. Поэтому для неотожженных образцов уже на втором импульсе амплитуда тока значительно уменьшается. В отожженных образцах количество ловушек, обусловленных дефектами решетки, меньше [10], чем у неотожженных, и в случае отожженных образцов при подаче нескольких последовательных импульсов напряжения ток наблюдается почти во всех импульсах и амплитуда тока очень медленно падает от импульса к импульсу.

### Выводы

1. Проводимости твердых растворов составов, богатых KCl, в сильном импульсном электрическом поле относительно больше, чем у составов, обогащенных KBr, за исключением составов с малым содержанием одной компоненты в другой.

2. Сравнение зависимости электрической прочности и плотности тока от состава твердых растворов этой системы показывает, что  $E_{пр}$  твердых растворов не определяется их проводимостью в предпробивных полях.

3. Характер уменьшения амплитуды тока, наблюдаемый при подаче нескольких последовательных импульсов напряжения, к неотожженным и отожженным образцам кристаллов KCl, KBr и их твердым растворам показывает возможности образования отрицательного объемного заряда за счет захваченных ловушками электронов.

4. Медленный спад амплитуды тока от импульса к импульсу в отожженных образцах показывает, что в сильном импульсном электрическом поле в кристаллических диэлектриках основными носителями заряда являются электроны, выходящие из катода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. J. Nurmi; Suomen kemistilehti, в. 32, р. 25, № 2, 1959.
  2. V. Hovi, L. Huvönen; Annal. Acad. Scient., Phys.—Math., Ser. A, № 106, pp. 1—15, 1951.
  3. W. E. Wallace, M. A. Fineman; Soc. Scient. Fennica, Comment. Phys.—Math., vol. 14, № 6, pp. 1—10, 1948.
  4. A. Smakula, N. Maynard, A. Repucci; J. Appl. Phys., vol. 33, № 1, p. 453, 1962.
  5. A. Smakula, N. Maynard, R. Repucci; Phys. Rev., vol. 130, № 1, p. 113, 1963.
  6. Е. К. Завадовская, Т. К. Кочербаев. Известия вузов, Физика, 1965 (в печати).
  7. Г. А. Воробьев, В. А. Кострыгин, Л. Т. Мурашко. Приборы и техника эксперимента, № 5, стр. 198, 1961.
  8. А. В. Баранов. Сб. трудов межвузовской конференции по пробое диэлектриков и полупроводников, ГЭИ, 1964.
  9. H. Layer, M. G. Miller, L. Slifkin; J. Appl. Phys., vol. 33, № 1, p. 478, 1962.
  10. Д. Райт. Полупроводники. ИЛ, М., стр. 51, 1957.
-