

НЕОМИЧЕСКАЯ ПРЫЖКОВАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ*

Н.А.Асадуллаев, Н.Б.Брандт, В.А.Власенко,
С.Н.Козлов, С.М.Чудинов

Впервые исследована неомическая прыжковая проводимость, стимулированная сильным электрическим полем в аморфном диэлектрике Si_3N_4 в магнитном поле при низких температурах. Обнаружен ряд новых эффектов.

1. Специфические свойства аморфного Si_3N_4 – высокая плотность локализованных состояний в пределах щели подвижности и сильное рассеяние носителей заряда, возбужденных в зону проводимости, делают его интересным объектом для изучения неомической проводимости в электрическом и магнитном полях. Однако, проводимость Si_3N_4 , до сих пор, исследовалась только при температурах $T > 77$ К. При $T > 300$ К токоперенос в Si_3N_4 связывается с эффектом Пула – Френкеля¹.

2. В настоящей работе исследована проводимость на постоянном токе у аморфного Si_3N_4 в интервале температур 2 – 450 К, в продольном и поперечном магнитном поле до 70 кЭ, во внешнем электрическом поле до 8 МВ/см. Исследовались 2 типа образцов: тип А состоит из слоев SiO_2 и Si_3N_4 с толщинами 60 и 400 Å; тип Б – из слоев SiO_2 , Si_3N_4 и SiO_2 с толщинами 60, 370 и 80 Å, соответственно. Образцы разных типов отличаются технологией приготовления пленки Si_3N_4 . В² было установлено, что достаточно толстый слой SiO_2 блокирует дырочную компоненту тока и проводимость образцов определяется исключительно слоем Si_3N_4 .

3. Все исследованные структуры имеют качественно одинаковые зависимости проводимости (тока) от температуры при $H = 0$. На рис. 1 приведена типичная температурная зависимость тока J поперек слоев в различных полях H для образца типа А. Высокотемпературная ($T > 100$ К) часть кривой соответствует активационному характеру проводимости и характеризует глубину энергетических уровней локализованных состояний в Si_3N_4 , максимальное значение которой составляет ~ 1 эВ. В области $30 < T < 100$ К проводимость практически не зависит от температуры. При дальнейшем понижении температуры проводимость после резкого падения достигает значений, слабо зависящих от T . Причем в этой области температур ($T < 12$ К) при различных напряжениях на образце может наблюдаться как рост, так и уменьшение тока при понижении T (см. вставку на рис. 1).

4. Характерной особенностью образцов является необычайно сильная зависимость проводимости от магнитного поля. Для образцов типа А проводимость не зависит от H при $T > 30$ К (рис. 1). При более низких температурах при постоянном напряжении U на образце типа А ток быстро падает уже в сравнительно слабых полях H , причем падение тока быстрее при более высоких напряжениях на образце (рис. 2). Важно отметить, что зависимость тока от H слабо чувствительна к ориентации H , причем продольное магнетосопротивление (МС) несколько превосходит его поперечное МС. У образцов типа Б при низких температурах МС ведет себя аналогичным образом. Однако у них, в отличие от образцов типа А, при $T \approx 20$ К знак МС инвертирует, и при более высоких температурах наблюдается отрицательное магнетосопротивление (ОМС) (см. рис. 3). Абсолютное значение ОМС быстро увеличивается в слабых полях и при H порядка нескольких кЭ достигает насыщения (вставка на рис. 3). Величина ОМС в области насыщения составляет $\sim 6\%$ от сопротивления в нулевом магнитном поле при $T = 30$ К и уменьшается до величины 1% при $T = 250$ К.

5. На вставке на рис. 2 показаны зависимости проводимости от напряжения на образце в координатах $\ln \sigma - U^{-1/4}$ в различных магнитных полях. Следует отметить, что часть кривых, соответствующие более низким напряжениям, хорошо ложатся на прямую линию в этих координатах. С ростом U наблюдается характерный излом при некотором U^* . Точка излома в магнитном поле смещается в область более сильных электрических полей.

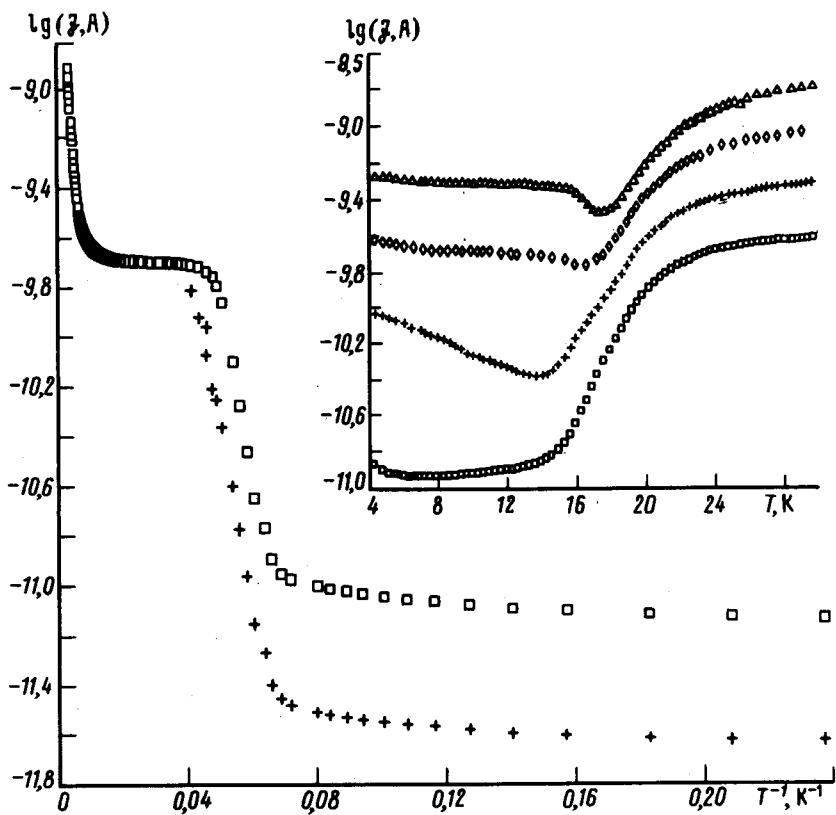


Рис. 1. Зависимость $\lg J$ от обратной температуры $1/T$ в магнитных полях $H = 0$ (\square) и $H = 20$ кЭ ($+$). На вставке показана зависимость $\lg J$ от T при напряжениях на образце -32 (\square), -33 В ($+$), -34 В (\diamond), -35 В (\triangle)

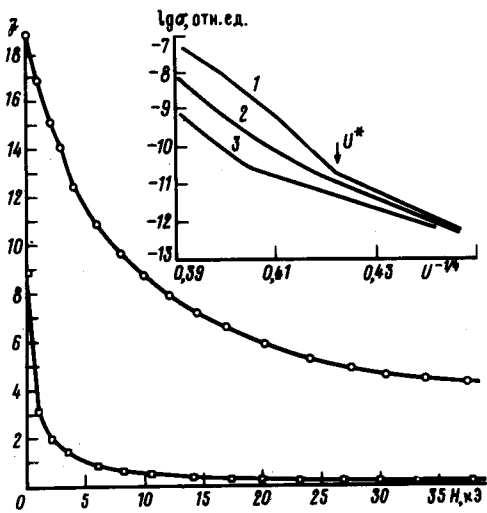


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость тока J от магнитного поля H . Значения тока (\circ) (μA) получены при напряжении на образце $-32,5$ В; (\square) (nA) — при напряжении -40 В. На вставке приведены зависимости проводимости от напряжения на образце U в координатах $\lg \sigma - U^{-1/4}$ в различных магнитных полях: 1 — $H = 0$, 2 — $H = 5$ кЭ, 3 — 25 кЭ

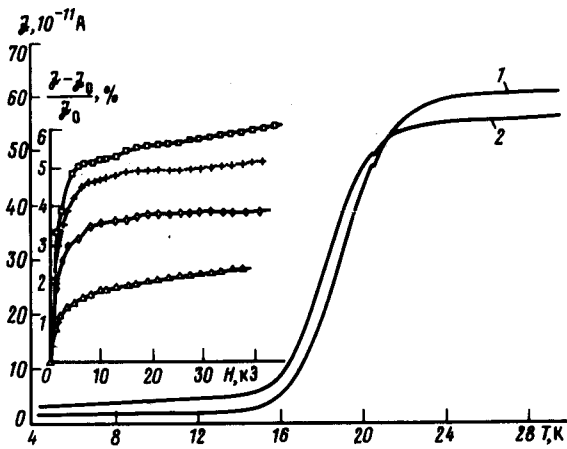


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость тока J через образец Б от температуры T при двух значениях магнитных полей: 1 — $H = 20$ кЭ, 2 — $H = 0$. При $T \approx 20$ К ПМС переходит в ОМС. Напряжение на образце -25 В. На вставке показано изменение $\Delta J/J_0$ в % в магнитном поле у образца типа Б при различных температурах: (\square) — 30 К, ($+$) — 78 К, (\diamond) — 98 К, (\triangle) — 180 К. Напряжение на образце -25 В

6. Появление экспоненциально сильной зависимости J от H (рис. 2) при низких температурах и указанные ее характерные особенности, а также характер зависимости проводимости от напряженности электрического поля (вставка на рис. 2), свидетельствуют в пользу того, что в этой области температур токоперенос в Si_3N_4 происходит на основе прыжкового механизма с диссипативным туннелированием в сильном электрическом поле. Не исключена возможность, что в этой области температур осуществляется неактивированный прыжковый токоперенос с испусканием фононов или длинноволновых фотонов при каждом перескоке ³.

7. Наличие ОМС у Si_3N_4 трудно объяснить в рамках модели ⁴, развитой для области слабой локализации вблизи порога подвижности. Значительно более вероятной причиной появления ОМС, с нашей точки зрения, является рассеяние электронов на парамагнитных центрах с переворотом спина ⁵. Как показывает оценка на основе ⁵ для объяснения величины ОМС 6% достаточно, чтобы концентрация парамагнитных центров в Si_3N_4 составляла 10^{18} см^{-3} , что согласуется с выводами работы ⁶.

8. Таким образом, в формировании неомического МС тонких диэлектрических пленок Si_3N_4 в сильных электрических полях могут, по-видимому, принимать участие два конкурирующих эффекта: диссипативное туннелирование, приводящее к увеличению сопротивления в магнитном поле, и рассеяние на парамагнитных центрах, вызывающего уменьшение электрического сопротивления.

Пользуемся случаем выразить нашу признательность профессору В.Ф.Киселеву за постоянный интерес к работе, И.Чиричу за помощь при проведении измерений.

Литература

1. Veargan J.R., Taylor H.L. J. Appl. Phys., 1968, 39, 5600.
2. Swaroop B., Schaffer P.S. J. of Phys. D, Appl. Phys., 1970, 3, 803.
3. Шкловский Б.И. ФТП, 1972, 6, 2335; Berezin A.A. Phys. Lett., 1981, 86A, 480; Phys. Rev. Lett., 1983, 50, 1520.
4. Альгшулер Б.Л., Аронов А.Г., Хмельницкий Д.Е. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 157.
5. Toyozawa Y. J. Phys. Soc. Japan, 1962, 17, 986.
6. Robertson J., Powell M. J. Appl. Phys. Lett., 1984, 44, 415.

Поступила в редакцию
28 мая 1986 г.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

После переработки
29 августа 1986 г.