

УДК 621.319.53

Электропроводность обкладок заряженного электрического конденсатора

Виктор В.Леонов*

Институт цветных металлов и материаловедения,
Сибирский федеральный университет,
Красноярский рабочий 95, Красноярск, 660025,
Россия

Получена 18.11.2008, окончательный вариант 17.02.2009, принята к печати 10.03.2009

Оценена электропроводность вдоль обкладок заряженного конденсатора. Она оказалась выше (или ниже), чем у незаряженного конденсатора. Электропроводность обкладки заряженного конденсатора может достигать повышенной проводимости и сверхизоляции.

Ключевые слова: электрический конденсатор, диэлектрические свойства, электрическое поле, электрод, диффузия.

При зарядке электрического конденсатора постоянным током на одной его обкладке увеличивается количество электронов, а на другой — уменьшается [1]. Это утверждение проверили экспериментом.

Две алюминиевые фольги площадью 40×1000 мм и толщиной 0,1 мм разделили полиэтиленовой пленкой. На два слоя фольги подали разность напряжений 3 кВ постоянного тока и зарядили образовавшийся конденсатор. Вдоль длинной стороны одной исследуемой фольги-обкладки измеряли электросопротивление тестером. Оказалось, что при подаче положительного потенциала на исследуемую обкладку ее электросопротивление лишь немного возрастает ($< 1\%$), а при отрицательном — лишь немного уменьшается ($< 1\%$) по сравнению с электросопротивлением незаряженной обкладки.

Таблица 1. Изменение электросопротивления $R \times 10^{-5}$, Ом кремниевой обкладки электрического конденсатора в зависимости от напряжения V на конденсаторе

Знак потенциала на кремниевой обкладке	V, кВ				$R_{3,0}/R_0$
	0	1	2	3	
+	5	6,5	7,6	9,8	2
-	5	3,5	2,4	1,0	5

Повторили этот эксперимент, но исследуемую обкладку заменили на полупроводниковую кремниевую пластинку n-типа толщиной 0,1 мм. При положительном потенциале электро-

*e-mail: leonovvv@inbox.ru

© Siberian Federal University. All rights reserved

сопротивление обкладки возросло в ~ 2 раза, а при отрицательном — уменьшилось в ~ 5 раз (табл. 1).

Эти эксперименты однозначно подтверждают, что на обкладках электрического конденсатора увеличивается или уменьшается количество электронов, что сопровождается изменением электропроводности вдоль обкладки. Эффект изменения электропроводности более заметен на полупроводниковой обкладке, чем на металлической.

Оценим обнаруженный эффект на основе известных физических формул [1]–[3]. Обращаем внимание, что ранее [4]–[6] исследовали электрический ток только через конденсатор и эффект поля, т.е. измерения велись перпендикулярно обкладкам. В нашей работе электросопротивление измеряли вдоль обкладки, а не перпендикулярно ей.

На обкладках заряженного конденсатора имеется поверхностная плотность δ зарядов.

$$\delta = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon U}{d}, \quad (1)$$

где ε_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума, ε — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика конденсатора, U — напряжение на обкладках конденсатора, d — толщина диэлектрика. По одним данным [1]–[3] эти заряды сконцентрированы в слое толщиной 1–2 атомных слоя, а по другим — на большей толщине.

Хотя неизвестна толщина этого слоя, но учтем ее. Упрощая примем для наглядности, что заряды не концентрируются в тонком поверхностном слое, а равномерно распределены по всей толщине h обкладки. В этом случае можем ввести понятие об избыточной (или недостающей) концентрации Δn носителей заряда по всей толщине обкладки. Она получается делением уравнения (1) на h :

$$\Delta n = \frac{\delta}{h} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon U}{dh}. \quad (2)$$

По уравнению (2) следует, что избыточная (недостающая) концентрация носителей заряда тем больше, чем меньше толщины диэлектрика и обкладки и чем больше напряжение на конденсаторе и диэлектрическая проницаемость.

Далее можно оценить изменение электропроводности обкладки. Как известно, удельная электропроводность σ пропорциональна концентрации $n(p)$ и подвижности $\mu_n(\mu_p)$ электронов (дырок):

$$\sigma = ne\mu_n + pe\mu_p \quad (3)$$

или для проводника с одним, например, электронным, типом проводимости, где e — заряд электрона:

$$\sigma = ne\mu. \quad (4)$$

Изменение электропроводностей (электросопротивлений) проводника равно отношению его удельных электропроводностей. На изменение электропроводностей основное влияние оказывает изменение концентрации носителей заряда, которое может составлять несколько порядков, а подвижность изменяется в меньшей степени. Поэтому отношение электропроводностей для одного вещества можно примерно заменить отношением концентраций носителей заряда:

$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma} \approx \frac{\Delta n}{n} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon U}{dhn}. \quad (5)$$

Чем больше концентрация электронов, тем меньше относительное изменение концентрации носителей заряда и электропроводности.

Как известно, концентрация носителей заряда очень сильно зависит от вида материала (примерно): диэлектрики $< 10^8$, полупроводники — $10^8 - 10^{19}$, металлы — 10^{22}см^{-3} . Отсюда становится понятным наблюдаемое нами незначительное изменение электропроводности алюминиевой (металлической) обкладки и заметное у кремниевой (полупроводниковой).

Далее численно оценим возможные максимальные величины Δn и $\Delta n/n$. Для этого примем известные максимальные $\varepsilon = 10^5$, $U/d = 10^6 \text{В/мм} = 10^9 \text{В/м}$, $h = 5A^\circ = 5 \times 10^{-4} \text{мкм} = 5 \times 10^{-10} \text{м}$, $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{Ф/м}$, кулон = $0,625 \times 10^{19}$ электронов.

$$\Delta n = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon U}{dh} = \frac{8,85 \times 10^{-12}(\phi) \times 10^5 \times 10^8(B/m) \times 0,625 \times 10^{19}}{5 \times 10^{-10}(m) \times 10^6(cm^3)} = 1,1 \times 10^{24} cm^{-3} . \quad (6)$$

Как видим, на обкладке заряженного конденсатора можно создать избыточную (недостающую) концентрацию электронов 10^{25}см^{-3} , которая существенно выше равновесной концентрации электронов (дырок) не только у диэлектриков и полупроводников, но даже на 3 порядка у металлов.

Этот расчет подтверждается приведенным выше нашим экспериментом на кремниевой пластинке. Например, если при толщине пластинки 0,1 мм сопротивления изменялось в 5 раз, то при уменьшении толщины пластинки до $5 \times 10^{-7} \text{мм}$ это изменение может достигнуть $10^4 - 10^6$ раз.

Для наглядности примем величины удельных электропроводностей ($\text{ом}^{-1} * \text{см}^{-1}$): сверхпроводники — 10^{20} при гелиевой температуре, а при комнатной температуре медь и серебро — 10^6 , железо — 10^5 , германий — 10^{-2} , диэлектрики — $< 10^{-3}$. Следовательно, если принять слабую зависимость подвижности носителей заряда от их концентрации, то при комнатной температуре электропроводность металлов можно повысить на 3–5 порядков, полупроводников — на 5–10 порядков, диэлектриков еще больше. Металлы, полупроводники и диэлектрики могут приближаться к повышенной электропроводности при комнатной температуре и тем более при низких температурах, если они будут служить обкладкой заряженного конденсатора.

При смене полярности тока на обкладке конденсатора электроны выкачиваются из обкладки до такой же величины концентрации. Следовательно, эта обкладка будет с пониженной электропроводностью. Следует добавить, что в наших рассуждениях не учитывались некоторые явления, например, поверхностные состояния в твердом теле и др.

Выводы

1. Обкладки заряженного конденсатора имеют избыточную или недостаточную концентрацию носителей заряда по сравнению с зарядами на незаряженной обкладке. Это позволяет повысить или понизить удельную электропроводность вдоль обкладки на несколько порядков и приблизится к состоянию повышенной проводимости или изоляции.
2. Эффект будет наблюдаться как при комнатной температуре, так и при низких и высоких температурах.
3. Обнаруженный эффект заметнее на полупроводниках, чем на металлах.

Список литературы

- [1] В.Т.Ренне, Электрические конденсаторы, Л., Энергия, 1969.
- [2] И.В.Савельев, Курс общей физики, Т.2, Электричество, М., Наука, 1970.
- [3] Р.Фейман, Р.Лейтон, М.Сэнс, Феймановские лекции по физике, Т.5, М., Мир, 1977.
- [4] Е.В.Бабкин, Н.Г.Черкунова, С.Г.Овчинников, В.В.Вальков, Квантовый размерный эффект в тонких пленках магнетита, *ФТТ*, **25**(1983), №6, 1986-1998.
- [5] С.Г.Овчинников, И.С.Сандалов, Н.Г.Черкунова, Осцилляция точки Вервея в пленках магнетита в сильном электрическом поле, *ФТТ*, **27**(1985), №11, 3487-3490.
- [6] A.D.Caviglia, S.Gariglio, N.Reyren, D.Jaccard, T.Schneider, M.Gabay, S.Thiel, G.Hammerl, J.Mannhart, J.-M.Triscone, Electric field control of the LaAlO₃/SrTiO₃ interface ground state, *Nature, letters*, **456**(2008), №. 4, 624-627.

The Electrical Conductivity of the Facings of a Charged Electrical Condenser

Viktor V.Leonov

We have estimated the electrical conductivity along the facings of a charged. It has turned out to be higher (or lower), than with an uncharged condenser. The electrical conductivity of the facing charged condenser may reach enhanced conductivity and superresistance.

Keywords: electrical condenser, dielectric properties, electric field, an electrode, plates, diffusion.