

# ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МАКРОСИСТЕМ ДИЭЛЕКТРИК ПОЛИПРОПИЛЕН (ПП) – ПОЛУПРОВОДНИК $\alpha$ - ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Ф.И. Ахмедов, А.З. Асадова, М.Э. Гусейнова, А.Д. Кулиев

*Институт нефтехимических процессов им. академика Ю. Г. Мамедалиева НАНА,  
пр. Ходжалы, 30, г. Баку, 1025, Республика Азербайджан, [fazil9@rambler.ru](mailto:fazil9@rambler.ru)*

**Введение.** На сегодняшний день трудно назвать область деятельности человека, где бы не использовались диэлектрические материалы. Они нашли широкое применение в таких важных областях промышленности, как радиотехника, электроника, автоматика, ядерное и космическое машиностроение, и т.д.

Нарастающая тенденция использования таких материалов в современной индустрии ставит перед физиками–материаловедами задачу повышения качества уже существующих материалов и разработку диэлектрических материалов с совершенно новыми свойствами. Исследования в этом направлении показывают, что такими диэлектрическими материалами могут служить композиционные диэлектрики.

В настоящее время исследования электрофизических свойств композиционных материалов приобретают особый интерес для материаловедения [1–3]. Значительные изменения электропроводности, температурного коэффициента сопротивления и т. д. в области перколяционного перехода позволяют получить материалы с отличительными свойствами [4].

С учетом вышесказанного, нами были исследованы зависимость объемного удельного сопротивления от температуры композита полипропилен (ПП) с наполнителем  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а также изменение объемного удельного сопротивления от объемной концентрации проводящей фазы.

## Методика эксперимента

Образцы композитов в виде пленок толщиной  $200 \pm 20$  мкм были получены путем горячего прессования (при давлении 15 МПа в течение 5 минут и при температуре на  $10$ – $15^\circ$  выше  $T_{\text{пл}}$  полимерной матрицы) предварительно смешанных порошков полимера и наполнителя. Содержание наполнителя в композите варьировалось в пределах  $1$ – $20\%$  об.

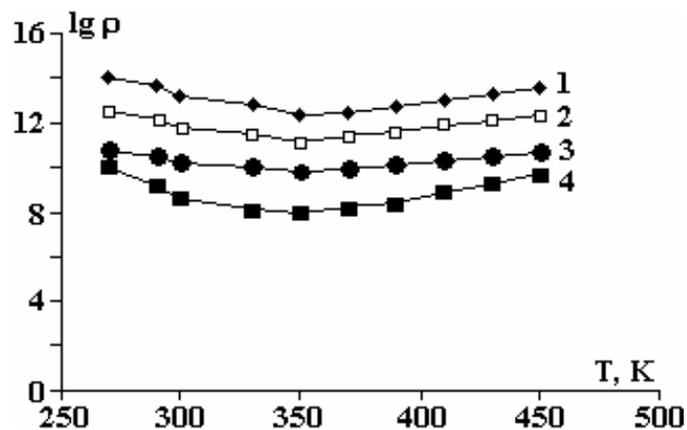
Исследование проводилось в системе электродов двухзажимного типа. Измерения сопротивления образцов проводились на тераомметре Е6-13А при линейном росте температуры со скоростью  $2,0$  К/мин. Наличие оксида железа в композитах контролировалось с помощью рентгеновской дифракции и ИК-спектроскопии. Рентгенограммы были сняты на дифрактометре ДРОН-3М, ИК-спектры – на FT-IR Spektrum BX.

## Результаты эксперимента и их обсуждение

Рентгеновские анализы оксида железа и композитов, приготовленных на основе ПП с различным содержанием оксида железа, показали, что железо в оксиде находится в виде  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (гематит). На рентгенограммах образцов с содержанием оксида железа  $5\%$  и выше хорошо просматриваются полосы с  $d = 2,69; 2,51; 1,69; 2,201; 1,838$  и др., соответствующие основным линиям указанной фазы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . На рентгенограммах образцов с меньшим содержанием оксида железа, где линии, соответствующие гематиту, были выражены очень слабо или вовсе отсутствовали, о его наличии судили по ИК-спектрам – по поглощению в области  $1003 \text{ см}^{-1}; 1153 \text{ см}^{-1}$ , соответствующему поглощению Fe-O.

На рисунке представлены температурные зависимости удельного сопротивления приготовленных композитов.

Как видно из зависимостей, тенденция поведения электропроводности сохраняется. Поэтому зависимости можно разбить на низкотемпературные и высокотемпературные участки. Из зависимостей видно, что значения удельного сопротивления при температурах от  $293$  до  $360$  К уменьшаются, следовательно, увеличивается электропроводность, а после температуры  $360$  К электропроводность уменьшается.



Зависимости удельного сопротивления композитов от температуры при разных концентрациях оксида железа  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , %: 1 – 3; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20

Как известно [5], проводящая цепочечная структура образуется лишь в том случае, когда на части поверхности частицы соблюдается условие  $E_{12} > E_{11}$ , но при этом имеются участки, для которых справедливо условие  $E_{22} > E_{12}$  (где  $E_{11}$  – энергия взаимодействия кинетических единиц полимерной макромолекулы друг с другом,  $E_{12}$  – энергия взаимодействия кинетической единицы полимера с частицей наполнителя, а  $E_{22}$  – энергия взаимодействия частиц наполнителя друг с другом).

Если  $E_{11} > E_{12}$  и  $E_{12} < E_{22}$ , то после перемешивания компонентов образуется большое число агломератов частиц наполнителя, затрудняющих формирование непрерывной проводящей структуры. Если же  $E_{12} > E_{11}$  и  $E_{12} > E_{22}$ , то образуются прочные связи полимера с наполнителем, в результате чего каждая частица будет покрыта изолирующим слоем полимера и композит будет обладать низкой электропроводностью. Значит, при низкотемпературном интервале (293–360 К) в нашей системе выполняется условие  $E_{11} < E_{12}$  и  $E_{22} > E_{12}$ , а для высокотемпературного интервала – условие  $E_{12} > E_{11}$  и  $E_{12} > E_{22}$ .

Как видно из зависимостей, при увеличении процентного содержания наполнителя тенденция поведения зависимостей сохраняется, но электропроводность увеличивается с увеличением процентного содержания наполнителя. А это, согласно литературным данным [6], означает, что при увеличении процентного содержания наполнителя в композите начинается образование конгломератов, которые, смыкаясь, образуют разветвление цепи, причем развитие таких проводящих цепей в конечном итоге зависит от сопротивления оболочек на поверхности проводника.

Для выяснения структурных особенностей композитов использовался метод количественного анализа – рентгеноструктурный анализ, были сняты дифрактограммы.

Согласно данным дифрактограммы, в исходном полипропилене в кристаллической части максимумы проявляются при интервале 15–28°, максимумы острые и интенсивные. А в аморфной части интенсивность максимумов уменьшается, при этом пик становится широким. Так как  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  обладает высококристаллической структурой, при введении наполнителя в полипропилен его кристаллическая часть разрушается, но полностью не исчезает.

В зависимости от процентного количества наполнителя  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , введенного в полипропилен, интенсивность максимумов увеличивается. А это согласуется с вышеуказанным обсуждением.

**Заключение.** В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) для композитов ПП с наполнителем  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  исследованы температурные зависимости удельного сопротивления. Установлена взаимосвязь между частицами полимера и наполнителя;

2) исследования зависимостей  $\lg \rho$  показали, что при низких температурах (293–360 К) электропроводность увеличивается за счет образования дополнительных проводящих металлических каналов и вследствие релаксации аморфной структуры металлической фазы, а при высоких температурах  $>360$  К электропроводность уменьшается, что предположительно связано с объединением металлических гранул, увеличением диэлектрической прослойки между ними и снижением среднего числа локализованных состояний между гранулами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Харитонов Е.В. *Диэлектрические материалы с неоднородной структурой*. М.: Радио и связь, 1983.

2. Чмутин И.А., Летагин С.В., Шевченко В.Г., Пономаренко А.Т. Электропроводящие полимерные композиты: структура, контактные явления, анизотропия (обзор). *Высокомолекулярные соединения*. 1994, **36**(4), 699–713.
3. Ханикаев А.Б., Грановский А.Б., Клерк Ж.-П. Влияние распределения гранул по размерам и притяжения между гранулами на порог перколяции в гранулированных сплавах. *ФТП*. 2002, **44**(9), 1537–1539.
4. Соцков В.А. Электрофизические характеристики макросистем диэлектрик-проводник, диэлектрик-полупроводник. *ФТП*. 2005, **39**(2), 269–275.
5. Гуль В.Е., Шенфель Л.З. *Электропроводящие полимерные композиции*. М.: Химия, 1984. 240 с.
6. Шкловский Б.И. Перколяционная электропроводность в сильных электрических полях. *ФТП*. 1979, **13**(1), 93–97.

*Поступила 22.12.10*

### **Summary**

The dependence of the volumetric specific resistance on the volumetric concentration of conductivity phase was studied and the interdependence between molecular units of polymers and fillers was shown. It was established that at low temperatures the electroconductivity increases at the expense of the formation of supplementary channels and in the consequence of the relaxation of amorphous structure of the semiconductor phase, and at high temperatures the decrease of the electroconductivity is presumably connected with the combination of semiconductor particles of fillers.

---