

Возможности применения фенолформальдегидной смолы в электронике

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ
РАБОТЫ
УЧАЩИХСЯ

Автор работы:

Малашихина Александра,

МБОУ гимназия № 4, г. Пятигорск, 11 класс

Научные руководители:

Колясников Олег Владимирович,

ст. преп. каф. химии СУНЦ МГУ, г. Москва;

Каплунов Вадим Владиславович,

студент МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Введение

Сегодня, в век вычислительных машин и различной техники, всё более актуально применение новых и перспективных устройств, а они зачастую требуют высоковольтного питания, которое нуждается в собственной элементной базе. Создание диэлектрика для конденсаторов из фенолформальдегидной смолы имеет некоторое преимущество по сравнению с современными аналогами. Данная исследовательская работа открывает перспективы для применения в высоковольтной электротехнике.

В данной работе описана возможность создания более экономичного метода производства высоковольтных конденсаторов в сравнении с производством керамических или слюдяных аналогов, которые незаменимы для любого вида техники.

Особенности фенолформальдегидной смолы:

Фенолформальдегидные смолы — синтетические смолы, которые являются жидкими или твёрдыми продуктами поликонденсации фенола с формальдегидом (рис. 1).

Изучение свойств фенолформальдегидных смол началось ещё в 1912 году после синтеза бакелита. Однако ценные свойства фенолформальдегидной смолы не были широко применены на практике

в области электроники, а нашли своё развитие в получении пластических масс, клеев, лаков.

К положительным качествам смолы относятся механическая и коррозионная устойчивость, высокие электроизоляционные свойства.

К недостаткам смолы относится относительно большая токсичность за счёт неустраняемой примеси фенола, но для данной работы она пренебрежительно мала вследствие малых размеров конкретного конденсатора.

Цель работы: синтез фенолформальдегидной смолы в качестве диэлектрика для конденсатора.

Задачи

Изучить особенности синтеза фенолформальдегидной смолы на пластине конденсатора.

Определить оптимальные условия синтеза смолы на пластине конденсатора.

Определить диэлектрическую проницаемость фенолформальдегидной смолы (рис. 2) и её изоляционные свойства.

Изготовить конденсатор с диэлектриком на основе фенолформальдегидной смолы и определить его технические характеристики.

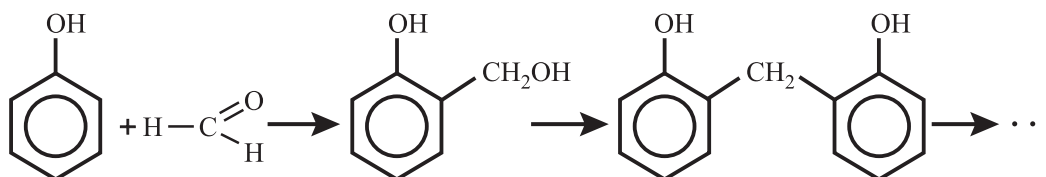
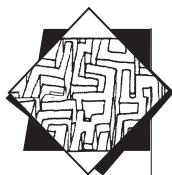


Рис. 1. Структурная формула синтеза полимера поликонденсацией фенола с водным раствором формальдегида 40% с выделением побочного низкомолекулярного продукта — воды



Используемые реактивы и оборудование:

Кристаллический фенол, резорцин кристаллический, 40% водный раствор формальдегида, концентрированный раствор соляной кислоты, гидроксид натрия (в качестве катализаторов реакции), флуоресцентные красители; все реактивы отечественного производства квалификации не ниже «ч».

Автоматические пипетки с переменным объёмом на 20–250 мкл и на 200–1000 мкл (Ленпипет, Россия).

Пробирки химические.

Штатив под пробирки и лабораторный штатив.

Магнитная мешалка с подогревом.

Демонстрационный измерительный прибор (Научные развлечения, Россия).

Термопарный датчик температуры (Научные развлечения, Россия).

Спиртовка.

Генератор высоковольтного напряжения (собран и любезно предоставлен преподавателем курса электроники Каплуновым В.В.)

Текстолитовые пластины, покрытые медной фольгой.

Методы решения поставленных задач:

Используемый процесс синтеза фенолформальдегидной смолы — поликонденсация — процесс синтеза полимеров, сопровождающийся выделением низкомолекулярного побочного продукта, в данном случае воды, при взаимодействии функциональных групп (рис. 2). Эта реакция включает три основных этапа:

Присоединение формальдегида к фенолу.

Рост цепи (образование форполимера) при температуре ниже 100°C.

Отверждение (сшивание) смолы при температуре выше 100°C.

Следует отметить, что реакция фенола с формальдегидом протекает не количественно, и после прекращения поликонденсации в реакционной смеси остаются несвязанные исходные вещества (например, фенол, который почти полностью испаряется вместе с парами воды лишь при температуре выше 200°C).

Процесс поликонденсации новолачных смол можно контролировать. Если к реакционной смеси во время синтеза добавить раствор щелочи, то реакцию можно замедлить, что позволяет контролировать синтез смолы непосредственно на пластине конденсатора. Вследствие этого появляется возможность выбора самой различной формы пластин, возможно, даже отличающейся от плоских или круглых конденсаторов для определённого вида техники.

В ходе исследования было осуществлена оптимизация концентраций каждого из используемых реагентов. Экспериментальным путём была определена масса веществ и объём растворов, концентрация раствора катализатора (рис. 3), а также температура нагрева до начала образования смолы (рис. 4) и кислотность среды. Было проведено около 40 реакций с различной концентрацией, объёмом и массой исходных веществ с целью оптимизации.

При проведении замеров максимальной пробивной напряжённости использовался генератор высоковольтного напряжения (до 30 000 В). Одна из его клемм соединялась с медной фольгой на текстолитовой пластине, покрытой

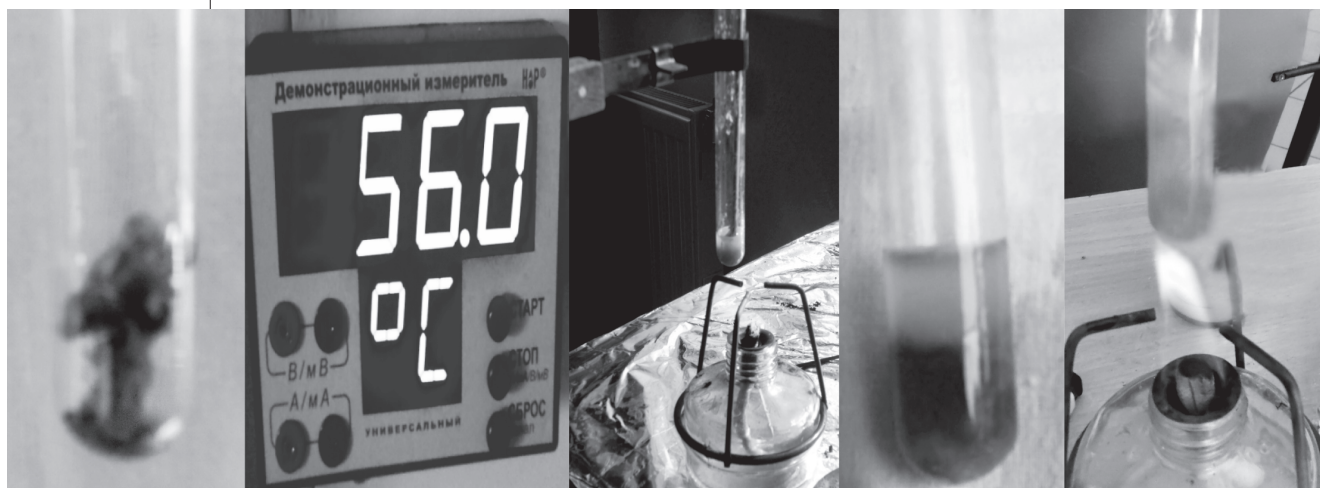


Рис. 2. Процесс синтеза фенолформальдегидной смолы

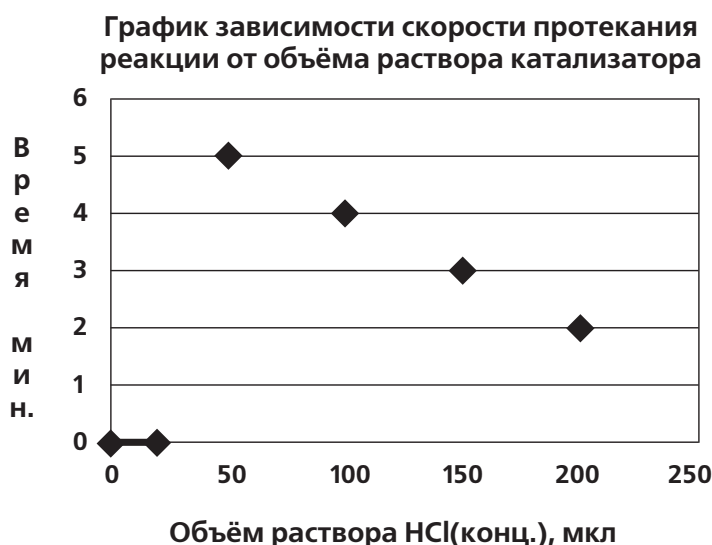


Рис. 3. Процесс оптимизации протекания реакции (зависимость скорости протекания реакции поликонденсации фенола с водным раствором формальдегида в зависимости от объёма раствора катализатора)

слоем фенолформальдегидной смолы (толщина слоя смолы равна 1 мм), а другая — с иглой, от которой идёт искра. Далее замерялось первое расстояние, при котором образуется искра, и по заданной формуле рассчитывалась максимальная пробивная напряжённость, учитывая дополнительный зазор (рис. 5). Ёмкость конденсатора рассчитывалась по формуле с известными параметрами (рис. 6). Далее, с использованием генераторов высокочастотных сигналов, были получены параметры ёмкости, которые сошлись с теоретически рассчитанными.

Ход работы

Известно, что существует два типа фенолформальдегидных смол: резольные и новолачные, отличающиеся по методу синтеза. Как показал эксперимент, резольные смолы, поликонденсирующиеся в щелочной среде, не удовлетворяют решению поставленной задачи, так как синтез занимает длительное время, смола обладает слишком большой вязкостью и ограниченным сроком хранения — несколько дней, поэтому для исследований были выбраны смолы новолачного типа, образующиеся в кислой среде.

График зависимости скорости протекания реакции от температуры нагрева реакционной смеси

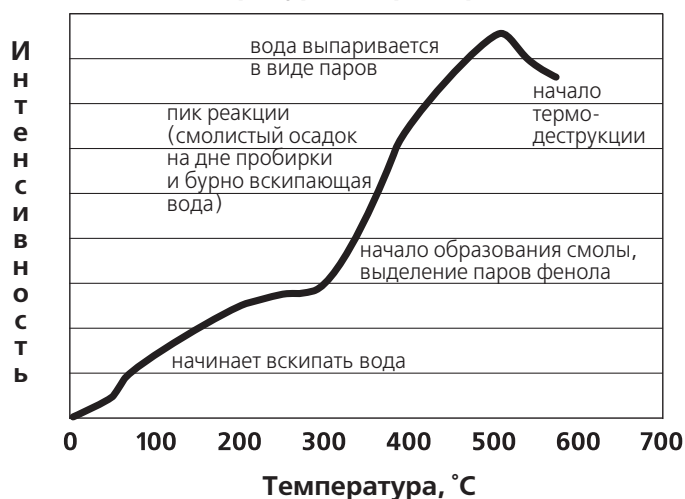


Рис. 4. Процесс оптимизации протекания реакции (зависимость скорости протекания реакции поликонденсации фенола с водным раствором формальдегида в зависимости от температуры нагрева реакционной смеси)

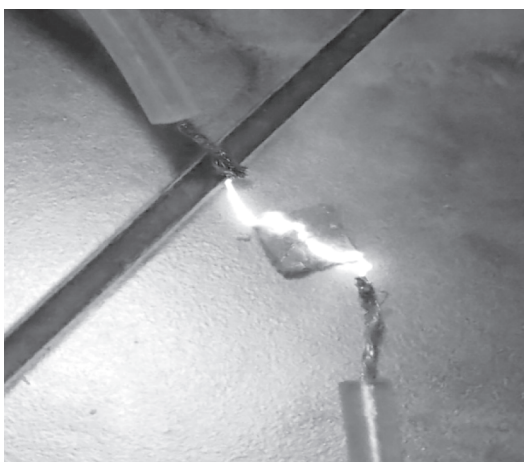


Рис. 5. Определение предельной пробивной напряжённости конденсатора с диэлектриком в качестве фенолформальдегидной смолы

Так как в ходе экспериментов было невозможно использовать сложную технологию напыления диэлектрика на пластины, необходимо было задать вязкость, твёрдость и однородность покрытия слоя диэлектрика, варьируя условия проведения реакции.

В ходе последовательных экспериментов мы пришли к оптимальному для нашей задачи соотношению реагентов и условий реакции. На 0,7 г фенола мы брали 500 мкл формалина и активировали реакцию добавлением 200 мкл HCl(конц.). Реакция нагревалась до 56°C на магнитной мешалке с подогревом в течении 10 минут. Далее мы проводили контролируемый нагрев до 200°C над пламенем спиртовки для удаления следов фенола и образующейся при реакции воды в течении 2–3 минут. Образовавшейся смолой мы покрывали пластины конденсатора, но, к сожалению, нам не удалось достичь однородности слоя диэлектрика. Следует отметить в качестве направления дальнейшей работы, что, если удастся автоматизировать покрытие пластин конденсатора (например, использовать напыление), можно добиться идеальной однородности продукта.

Мы же для улучшения качества покрытия пришли к идее окончания реакции поликонденсации непосредственно на пластине конденсатора. Для этого на 0,7 г фенола мы брали 600 мкл формалина и активиро-

вали реакцию добавлением 200 мкл HCl(конц.). Реакция нагревалась до 60°C на магнитной мешалке с подогревом в течении 10 минут, образовавшаяся зеленоватая смола наносилась на пластину конденсатора и самопроизвольно застывала в течение часа в виде лаковой плёнки.

Конденсатор с покрытием такого типа показал неплохую ёмкость (3,6 пФ), однако, обладал слабой пробивной напряжённостью. К тому же пластина конденсатора при нагревании в пламени спиртовки вместе с реакционной смесью обугливалась, что указывало на её недостаточную термостойчивость.

В финальном эксперименте мы для улучшения термических и механических свойств продукта пришли к идее использования добавки резорцина, который имеет две гидроксильные группы и более охотно, чем фенол, вступает в реакцию полимеризации с формальдегидом. Это даёт возможность разветвления по резорцину и, тем самым, в смоле появляются поперечные сшивки, что увеличивает её прочность.

На 0,5 г фенола мы брали 0,3 г резорцина и 700 мкл формалина; затем активировали реакцию добавлением 200 мкл HCl(конц.). Для запуска процесса реакция нагревалась до 40°C на магнитной мешалке с подогревом в течение 10 минут. Затем реакция протекала бурно и самопроизвольно, с повышением температуры до 250°C. Синтез смолы проходил непосредственно на текстолитовой пластине конденсатора, помещённой в пробирку. Конечный продукт синтеза достаточно твёрдый, прочный и однородный. Максимальное пробивное напряжение для данного образца составило 12 кВ/мм, что соизмеримо с аналогичными керамическими конденсаторами.

Было выяснено, что на строение продуктов взаимодействия фенола с формальдегидом большое влияние оказывают концентрация реагентов, pH среды и температура нагрева реакционной смеси.

В ходе одной из таких реакций был проведён «побочный» эксперимент, направленный на улучшение эстетических качеств полученных конденсаторов. Была проверена возможность изменения окраски

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} = \frac{4 \text{ Ф/м} \times 8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м} \times 10^{-4} \text{ м}}{10^{-3} \text{ м}} = 3,5 \text{ пФ}$$

Рис. 6. Формула расчёта ёмкости конденсатора с диэлектриком из фенолформальдегидной смолы, где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, ϵ_0 — электрическая постоянная, S — площадь обкладки конденсатора, d — расстояние между электродами

Сравнительная характеристика различных типов диэлектриков для конденсаторов с диэлектриком из фенолформальдегидной смолы

Тип диэлектрика	Достоинства	Недостатки
Керамика	дешевизна; малые размеры конденсатора; стабильность; большой выбор производителей	диапазон номиналов ограничен небольшими значениями
Слюда	стабильность	большие размеры конденсатора; дороговизна; малый диапазон номиналов
Фторопласт	стабильность; температурный диапазон до +125°C; большой выбор номиналов	дороговизна; большие размеры конденсатора
Полиэфир	широкий температурный диапазон; дешевизна	большой размер конденсатора; многослойность диэлектрика
Фенолформальдегидная смола	широкий температурный диапазон до +500°C; дешевизна; варьирование размеров конденсатора; возможность задать необходимую толщину и однородность слоя диэлектрика	токсичность диэлектрика; средняя стабильность

<http://rutube.ru/video/e89775816d8e8b3413b10ac7d8b6b582/> — синтез фенолформальдегидной смолы на пластине конденсатора.

<http://rutube.ru/video/525b5c68555b4061e85c996c9307c82f/> — определение предельной пробивной напряжённости конденсатора с диэлектриком в качестве фенолформальдегидной смолы.

с помощью флуоресцирующих красителей фенолформальдегидной смолы на конденсаторе, не влекущее значительное изменение его характеристик. Были получены конденсаторы 3 цветов: зелёный, синий и жёлтый.

Выводы

Осуществлён синтез фенолформальдегидной смолы на пластине конденсатора и исследованы её свойства как диэлектрика.

Получено и исследовано 3 вида покрытий для пластин конденсатора — лаковое, смолистое, твёрдое. Толщина каждого слоя диэлектрика не превышала 1 мм (рис. 7).

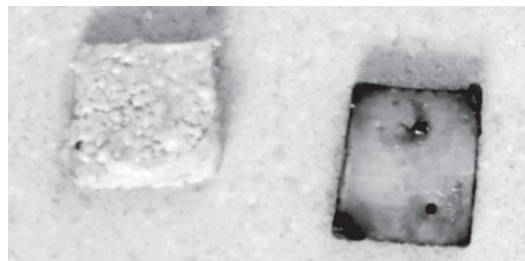


Рис. 7. Пластинки конденсатора, покрытые фенолформальдегидной смолой (слева-направо: твёрдое покрытие, лаковое)

Рассчитаны характеристики полученных конденсаторов — электрическая ёмкость: до 3,5 пФ, предельная пробивная напряжённость конденсатора с твёрдым диэлектриком: 12 кВ/мм, со смолистым — 10 кВ/мм, лаковым — 7,5 кВ/мм.

Полученные конденсаторы отличались большим рабочим диапазоном температур, механической устойчивостью, сравнительно большим значением максимального пробивного напряжения (до 12 кВ/мм) и малыми габаритами, что может быть важно для практического использования.

Литература

1. Голубев И.И. Обзор современных конденсаторов. — СПб.: Современная электроника, 2006.
2. Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. — Л.: Энергия, 1969.
3. Каргин В.А. Энциклопедия полимеров. — М.: Сов. энци., 1972.
4. Цветков Л.А. Синтетические высокомолекулярные вещества. — М.: УЧПЕДГИЗ, 1962.
5. Любин Дж. Справочник по композиционным материалам. — М.: Машиностроение. Т. 1. 1988. 📖