

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Видрик Г.А., Костоков Н.С. Физико-химические основы производства и эксплуатации электрокерамики. М.: Энергия, 1971. 327 с.
2. Журавковский А.П., Саар А.М., Эланго М.А. Проявление радиационной нестабильности Al_2O_3 методом рентгеновской спектроскопии. — В сб.: Радиационные явления в широкозонных оптических материалах. Ташкент: ФАН, 1979, с. 129—130.
3. Аветиков В.Т., Зинько Э.М. Магнезиальная электротехническая керамика. М.: Энергия, 1973. 183 с.
4. Белоусов В.М., Работкин В.А. Изменение поглощения света видимой и ИК области в образцах стеатитовой керамики вследствие облучения. — Изв. ВУЗ, физика, 1969, № 4, с. 138—140.
5. Белоусов В.М., Коноплева Л.Н., Тарасенко В.Н. Исследование радиационных изменений в однокомпонентных образцах из SiO_2 , MgO , Al_2O_3 и B_2O_3 . — Там же, № 5, с. 128—130.
6. Костоков Н.С., Харитонов Ф.Я., Антонова Н.П. Радиационная коррозионная стойкость электрокерамики. М.: Атомиздат, 1973. 224 с.
7. Бреховских С.М., Тюлькин В.А. Радиационные центры в неорганических стеклах. М.: Энергоатомиздат, 1988. 200 с.
8. Бикбау М.Ю., Акрамов Р. Исследование дефектности ортосиликатов щелочно-земельных металлов методом радиоспектроскопии. — Неорг. матер., 1978, т. 14, № 3, с. 510—521.
9. Дианов Е.М., Корниенко Л.С., Никитин Е.П. и др. Кинетика накопления радиационных дефектов в некоторых особо чистых кварцевых стеклах и волоконных световодах. — Физика и химия стекла, 1980, т. 6, № 3, с. 335—339.
10. Бреховских С.М., Тюлькин В.А., Мамедов Э.К. Воздействие высокодозных гамма и реакторного излучений на силикатные стекла и нарушение первой координационной сферы иона стеклообразования. — Там же, 1978, т. 4, № 24, с. 443—449.
11. Колесова В.А. Исследование инфракрасных спектров поглощения силикатных стекол, содержащих магний. — Неорг. матер., 1965, т. 1, № 11, с. 2020—2025.
12. Тюлькин В.А. Структура стекол системы $MgO-SiO_2$ и $CaO-SiO_2$ по данным исследования их радиационных центров окраски. — Там же, 1971, т. 7, № 12, с. 2234—2239.
13. Тюлькин В.А., Герасимова А.Г. Радиационные парамагнитные центры в ливкационных фазах стекол системы $MgO-SiO_2$. — Там же, 1973, т. 9, № 8, с. 1463—1465.
14. Стрелецкий А.Н., Пакович А.Б., Гачковский В.Ф. и др. Люминесцентные свойства механических дефектов на поверхности кварца. — Хим. физика, 1982, № 7, с. 938—946.

Поступило в Редакцию 27.07.95

УДК 678.7:66.018.86.01

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Брискман Б.А., Купчишин А.И., Тлебаев К.Б.

(ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова, АГУ им. Абая, Казахстан)

При исследовании влияния облучения на теплофизические характеристики политетрафторэтилена (ПТФЭ) как модельного частично-кристаллического полимера установлено [1], что теплопроводность в интервале 290—470 К фактически не зависит от температуры. При 293 К на кривой температурной зависимости коэффициента теплопроводности наблюдается скачок, обусловленный фазовым переходом I рода и перестройкой структуры полимера. Облучение γ -квантами ^{60}Co до дозы 1,9 МГр привело к уменьшению исходного коэффициента теплопроводности на 8%, увеличению кристалличности с 54 до 74%, а также снижению температуры фазового перехода на 1 и 14 К при дозе 0,05 и 1,9 МГр соответственно. Измерения объемной теплоемкости ПТФЭ в этом же интервале дозы [2] показали, что температура фазового перехода 293 К уменьшается на 1 и 14 К соответственно для тех же значений дозы, а сам переход вырождается с ростом дозы облучения.

Из анализа изменений кристалличности, плотности и теплопроводности ПТФЭ [3—6] следует, что при дозе до 1 МГр происходит увеличение степени кристалличности, плотности и теплопроводности. При дальнейшем облучении наблюдается плавное снижение этих величин из-за разупорядочения кристаллитов и образования макроструктурных дефектов [7, 8] в результате выделения газообразных продуктов радиолиза. Динамика изменения свойств ПТФЭ существенно зависит от температуры облучения, мощности поглощенной дозы, а также вида ионизирующего излучения [9].

Фазовый переход I рода заключается в изменении типа элементарной ячейки — от триклинной к гексагональной вследствие изменения конформации цепи. Поэтому его относят к типу «ориентационного плавления». На приведенных в работах [3, 10] зависимостях коэффициентов теплопроводности и линейного термического расширения от температуры указанные переходы отсутствуют, что связано, по-видимому, с высокой скоростью нагрева (1—2 град/мин). В работе [5], где скорость нагрева составляла 0,1—0,2 град/мин, этот и дополнительный переход при 304 К зарегистрированы. Такое влияние скорости нагрева свидетельствует о релаксационном характере колебаний вокруг оси цепи при изменении ее конформации.

Следует отметить, что экспериментальные данные о теплофизических свойствах ПТФЭ, за исключением [5], получены при температуре выше 293 К. Почти полное отсутствие данных для низкой температуры не позволяет прояснить механизм радиационного повреждения ПТФЭ и ограничивает применение этого материала в полях ионизирующего излучения в криогенных условиях. Кроме того, за исключением [2], отсутствуют данные о характере изменения теплоемкости ПТФЭ, а также температуропроводности.

В связи с этим было исследовано влияние электронного облучения на комплекс теплофизических свойств ПТФЭ в интервале 80—330 К.

Исследуемые образцы представляли собой таблетки диаметром 30 мм и толщиной 2 мм исходной плотностью ρ 2140 кг/м³. Образцы облучали на линейном ускорителе ЭЛУ-6 при энергии электронов 6 МэВ в воздушной среде при температуре 303 К до дозы 0,04—2 МГр.

Коэффициент теплопроводности λ и удельную теплоемкость C определяли на установке ТАУ-5, созданной в алмаатинском университете им. Абая совместно с ВНИИФТРИ [11, 12]. Воспроизводимость результатов измерений составляла 1% для λ и 5% для C . Температуропроводность a образцов определяли по соотношению $a = \lambda/(\rho C)$.

Установка ТАУ-5 реализует абсолютный нестационарный метод нагретого круга, основанный на нагреве тепловым потоком тонкого датчика в виде диска, помещенного между образцом из исследуемого материала и образцом из материала с известными свойствами. Диск представляет собой полиимидную пленку, на которую методом фотолитографии нанесен ультратонкий слой никеля. Регистрируя во времени изменение температуры датчика при его нагреве постоянным током, можно получить информацию о свойствах материала. С известным приближением этот метод может применяться для определения теплового сопротивления R и теплоемкости пленок, тонких пластин материалов с низкой теплопроводностью. В состав ТАУ-5 входят криостат КТ-5 для измерения теплопроводности и теплоемкости, автоматическая система управления КИС «Аксамит-6.03», персональный компьютер типа IBM PC/AT и транспортный сосуд СК-25. Автоматический режим измерения и последующая математическая обработка результатов обеспечивается компьютерно-измерительной системой АК-6.03 и программным обеспечением.

На рис. 1—3 приведены экспериментальные кривые температурной и дозовой зависимостей теплофизических характеристик ПТФЭ.

Как видно из рис. 1, теплопроводность облученного и необлученного ПТФЭ с ростом температуры монотонно повышается в интервале 80—293 К. При 293 и 303 К наблюдается скачкообразное изменение теплопроводности, обусловленное фазовыми переходами I рода и перестройкой структуры ПТФЭ. Облучение до дозы 0,04 и 1 МГр привело к возрастанию λ на 8 и 12%, а также снижению температуры фазовых переходов на 1 и на 13 К соответственно, причем характер изменения теплопроводности от температуры для облученного и необлученного ПТФЭ одинаков. Облучение до дозы 2 МГр приводит к уменьшению теплопроводности, а фазовые переходы вырождаются. Зависимость λ облученного и необлученного ПТФЭ

от температуры описывается уравнением $\lambda = \sum_{i=0}^n A_i (T)^i$, где n — степень полинома; A_i — параметр, определенный методом наименьших квадратов; T — температура.

Теплоемкость облученных и необлученных образцов ПТФЭ возрастает с ростом температуры (рис. 2). Вблизи комнатной температуры отчетливо наблюдаются фазовые переходы. Облучение до дозы 0,04 и 1 МГр смещает фазовые переходы на 1 и 13 К в область низкой температуры, причем кривые для облученных образцов располагаются ниже кривой для необлученного образца. Облучение до дозы 2 МГр приводит к возрастанию теплоемкости и заметному вырождению фазовых переходов.

Температуропроводность облученного и необлученного ПТФЭ, как видно из рис. 3, падает с ростом температуры. В области комнатной температуры отмечены фазовые переходы. При большой дозе наблюдается уменьшение температуропроводности.

Из дозовых зависимостей теплофизических характеристик ПТФЭ следует, что тепло- и температуропроводность в интервале дозы 0,04—1 МГр возрастает, при более высокой дозе уменьшается. Наиболее существенные изменения наблюдаются при низкой температуре и в области фазовых переходов. Теплоемкость при малой дозе облучения уменьшается, при большой возрастает.

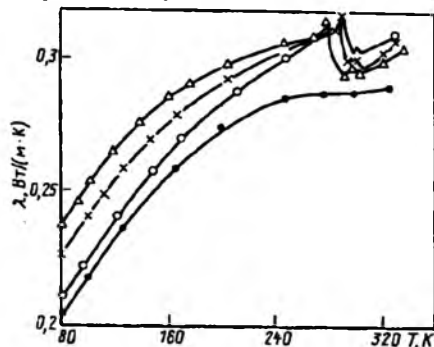
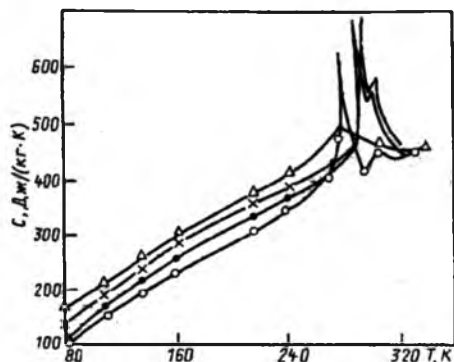
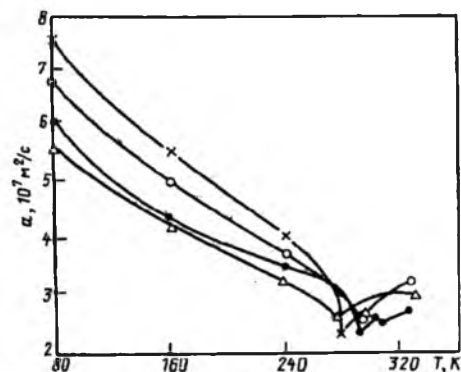


Рис. 1. Зависимость теплопроводности ПТФЭ от температуры при дозе облучения 0 (○), 0,04 (×), 1 (Δ) и 2 МГр (●)



Р и с. 2. Зависимость теплоемкости ПТФЭ от температуры при дозе облучения 0 (×), 0,04 (●), 1 (○) и 2 МГр (Δ)



Р и с. 3. Зависимость температуропроводности ПТФЭ от температуры при дозе облучения 0 (●), 0,04 (○), 1 (×) и 2 МГр (Δ)

Возрастание теплопроводности при облучении до дозы 0,04—1 МГр объясняется, по-видимому, ростом степени кристалличности в связи с тем, что в процессе радиационной деструкции фрагменты молекул подстраиваются один к другому, образуя небольшие кристаллиты. Количественные данные об увеличении степени кристалличности при облучении приведены в работах [1, 2, 4, 6]. Поскольку длина свободного пробега фононов в кристалле выше, то с увеличением степени кристалличности теплопроводность возрастает. Уменьшение теплопроводности при большой дозе, вероятно, вызвано макроструктурными дефектами, изменяющими, в частности, условия распространения фононов на границах аморфных областей.

Снижение температуры переходов и амплитуды пиков при облучении может быть связано с уменьшением средней длины цепи в результате деструкции, поскольку эта температура снижается для короткоцепных олигомеров $C_{14}F_{30}$ и $C_{20}F_{42}$ [13]. Дополнительным следствием деструкции является образование газообразных продуктов CF_4 , C_2F_6 и др., которые внедряются в ламели кристаллитов и вызывают локальную разупорядоченность, снижая степень кристалличности.

Еще одной причиной снижения температуры переходов может быть изменение типа элементарной ячейки кристаллической фазы, образующейся при подстройке фрагментов деструктирующей аморфной фазы. Такое предположение основывается на результатах работы [14], где обнаружена специфика поведения псевдокристаллической фазы ПТФЭ.

Характер изменения теплоемкости ПТФЭ при облучении, противоположный наблюдавшемуся для теплопроводности, обусловлен тем, что теплоемкость кристаллической фазы полимера по сравнению с аморфной существенно ниже.

Влияние облучения на теплофизические свойства ПТФЭ наиболее отчетливо проявляется при низкой температуре из-за существенной разницы между характеристиками кристаллической и аморфной фазы исходного полимера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hsu K., Kline D., Tomlinson J. Thermal conductivity of PTFE. — J. Appl. Polym. Sci., 1965, v. 9, № 11, p. 3567—3574.
2. Licht W., Kline D. Heat capacity of irradiated PTFE. — J. Polym. Sci.: Polym. Phys. Ed., 1964, v. 2, № 2, p. 4673—4680.
3. Бондарев В.Д., Брискман Б.А. Влияние γ -излучения на теплопроводность и плотность некоторых полимеров. — Пласт. массы, 1973, № 7, с. 7—10.
4. Брискман Б.А. Теплофизические свойства облученных полимеров. — Успехи химии, 1983, т. 52, № 5, с. 830—853.
5. Брискман Б.А., Розман С.И. Термические характеристики облученного ПТФЭ. — Высокомолек. соедин., 1986, т. А28, № 6, с. 1246—1252.
6. Брискман Б.А. Теплофизические свойства облученных полимеров. — Итоги науки и техники. Сер. Химия и технология высокомолек. соедин., 1988, т. 25, с. 136—194.
7. Takenaga M., Yamata K. Cold crystallization of PTFE by γ -irradiation. — J. Polym. Sci.: Polym. Phys. Ed., 1980, v. 18, № 7, p. 1643—1650.
8. Fisher W., Korelli J. Effect of ionizing radiation of the chemical composition, crystalline content and structure and flow properties of PTFE. — Ibid., 1981, v. 19, № 10, p. 2465—2493.
9. Брискман Б.А., Рогова В.Н., Чикина З.Н. Воздействие различных видов ионизирующих излучений на свойства полимеров. Теплопроводность и кристалличность ПТФЭ. — Химия высоких энергий, 1992, т. 26, № 2, с. 135—138.
10. Брискман Б.А., Розман С.И. Влияние облучения на плотность полимеров. — Инж.-физ. журнал, 1982, т. 43, № 2, с. 288—293.
11. Купчишин А.И., Тепикин Б.Г., Тлебаев К.Б. Влияние электронного облучения на теплофизические свойства пленочных материалов. — В сб.: 5-й Межгосудар. семина. Радиационная повреждаемость и работоспособность конструкционных материалов. Санкт-Петербург, 1993, с. 22—24.

12. Купчишин А.И., Тепикин Б.Г., Тлебаев К.Б. Методика измерения теплофизических свойств материалов. — В сб.: Труды 8-й конф. по радиационной физике и химии неорганических материалов. Томск, 1993, с. 42—43.
13. Vanni H., Rabolt I. Fourue transform infrared investigation of the effects of irradiation on the 19— 30 °C phase transmission in PTFE. — J. Polym. Sci.: Polym. Phys. Ed., 1980, v. 18, № 3, p. 587—596.
14. Брискман Б.А., Рогова В.Н., Дударев В.Я., Нойфех А.И. Исследование кристалличности ПТФЭ методами РСА и ДСК. — Высокомолек. соедин., 1989, т. А31, № 7, с. 539—543.

Поступило в Редакцию 3.08.95

УДК 621.039.76:621.396.96

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС

Елохин А.П., (ВНИИАЭС), Кононов Е.Н. (Академия химзащиты)

Использование радиолокационных станций (РЛС) как средства обнаружения радиоактивных выбросов АЭС в атмосфере основано на особенностях распространения электромагнитных волн в плазме, которые достаточно хорошо изучены для ионосферы. Распространению же электромагнитных волн в плазме, возникающей в пограничном слое атмосферы при рассеянии радиоактивной примеси, обусловленной выбросами АЭС, до недавнего времени не уделялось должного внимания в силу того, что источники плазмы имеют техногенное происхождение. В настоящей работе делается попытка восполнить этот пробел посредством предоставления как экспериментальных данных о регистрации ионизированных образований, возникающих в атмосфере либо действительно за счет выбросов радиоактивной примеси, либо за счет ионизации воздушной среды γ - β -излучением различных поверхностей (вентиляционных труб, крыш, могильников радиоактивных отходов) на АЭС и других радиационно опасных предприятиях, с помощью РЛС, так и рассмотрением теоретических вопросов формирования и динамики плазмы в пограничном слое атмосферы и распространения электромагнитных волн.

В дальнейшем под факелом радиоактивных «выбросов» будем понимать плазменные образования (плазмойды), в первую очередь возникающие за счет ионизации воздуха γ - β -излучением загрязненных поверхностей радиационно опасных объектов, особо оговаривая плазменные образования, возникающие действительно вокруг факела или облака радиоактивной примеси, поступающей в атмосферу при выбросах из вентиляционных труб АЭС. В этом случае во фразе «факел радиоактивных выбросов» кавычки будут отсутствовать.

Экспериментальные работы по исследованию возможности обнаружения и идентификации радиоактивного облака, возникающего в результате рассеяния примеси в атмосфере при выбросах АЭС и других радиационно опасных объектов, с помощью радиолокационных средств впервые были предприняты сразу после аварии на Чернобыльской АЭС и затем в 1989—1992 гг. на украинских и некоторых российских АЭС [1]. Работы проводились с использованием РЛС, работающих в санти-, деци- и метровом диапазоне длины волны.

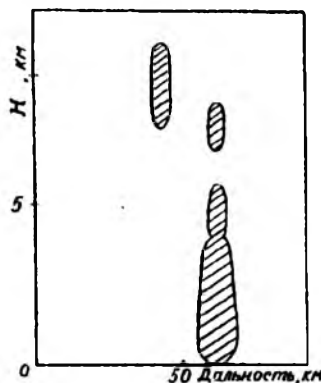
Факелы «выбросов» наблюдали на дальностях в диапазоне 11—65 км, предельная дальность их обнаружения составляла 500 км с предельной чувствительностью по выбросам радиоактивной примеси АЭС до нескольких кюри в сутки. Результаты экспериментальных исследований в качестве иллюстрации приведены на рис. 1 и состоят в следующем:

1. Структура факела «выбросов», являющегося радиолокационной целью, представляет собой длинный цилиндр или вытянутый усеченный конус (их плоскую проекцию) высотой от нескольких сотен метров до нескольких километров и в поперечнике — от нескольких десятков метров до 400—500 м, нижняя (широкая) часть которого располагается над вентиляционной трубой АЭС, а верхняя является прерывистой и может отделяться от основной фигуры или удаляться от нее в сторону.

2. Радиолокационный сигнал от тепловых выбросов в указанном диапазоне длины волн почти не отражается. Этот результат следует из наблюдений за выбросами более 100 ТЭЦ, работающих на газе.

3. Радиолокационные характеристики факела «выбросов» радиационно опасных объектов (предприятий, производящих радиационные материалы, реакторов, топлива, мест захоронения радиоактивных отходов) и АЭС идентичны.

4. Высота цели радиолокационных сигналов от факела выбросов Запорожской АЭС в метеорологических условиях, характеризующихся сильным ветром (буря), составляла ~600 м, ее интенсивность не изменялась и сама цель в отличие от метеообразований на экране локатора не перемещалась.



Р и с. 1. Радиолокационные сигналы нештатного выброса Запорожской АЭС 30.10.89 с экрана высотомера