

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров, Г.В. Нанесение неорганических покрытий / Г.В. Бобров. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2004. – 624 с.
2. Мрочек, Ж.А. Плазменно-вакуумные покрытия: монография / Ж.А. Мрочек [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 369 с.
3. Иващенко, С.А. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами / С.А. Иващенко, И.С. Фролов, Ж.А. Мрочек. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 236 с.
4. Табаков, В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента / В.П. Табаков. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.

УДК 535.37

Попечиц В.И.

### **ВИЗУАЛИЗАТОРЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ**

*Институт прикладных физических проблем  
им. А.Н. Севченко БГУ, г. Минск*

*Influence of gamma irradiation of cobalt-60 on spectral properties of a number of multicomponent solutions of organic dyes is investigated. It is shown that some of the studied solutions of dyes have a low feeding, high color contrast and can be used as ionizing radiation visual analyzers.*

Жидкие и твердые растворы органических красителей в органических и неорганических растворителях имеют интенсивные полосы поглощения в видимой области спектра и поэтому являются удобными объектами для исследования воздействия ионизирующего излучения на вещество [1–3].

При воздействии ионизирующего излучения на раствор органического красителя происходит необратимое обесцвечивание

(уменьшение интенсивности длинноволновой полосы спектра поглощения) раствора. Форма полосы при этом, как правило, не изменяется. Проведенные исследования показали, что необратимая радиационная деструкция красителей в растворах происходит в результате окисления красителей кислородсодержащими радикалами и ион-радикалами, образующимися при радиоллизе растворителей ( $\text{OH}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HO}_2$ , и др.). Радиационное обесцвечивание растворов красителей (уменьшение концентрации исходного красителя в растворе при увеличении времени гамма-облучения раствора) происходит по экспоненциальному закону. Скорость радиационной деструкции красителя в растворе существенно зависит как от химической природы красителя, так и от природы и физико-химических свойств растворителя. Наименьшая радиационная стойкость красителей наблюдается в водных растворах, наибольшая в растворителях, молекулы которых не содержат атомов кислорода (например, в диметилаmine и диэтилаmine) и в твердых растворах (например, в полимерных пленках)].

Следовательно, по уменьшению со временем интенсивности длинноволновой полосы поглощения раствора красителя под действием ионизирующего излучения, можно определить величину радиационной дозы. Таким образом, раствор органического красителя может служить детектором радиационной дозы и использоваться для радиоэкологического мониторинга окружающей среды [4, 5]. Например, водные и водно-спиртовые растворы красителей могут успешно использоваться для визуального определения радиационной дозы в диапазоне 30 – 5000 Гр, а окрашенные красителями полимерные пленки – 3000–400000 Гр.

Детекторы на основе жидких и твердых растворов красителей удобны в использовании, имеют низкую стоимость, не требуют источников питания. Однако, при проведении точных (с точностью, например, до 3–5 %) измерений радиационной

дозы с помощью раствора красителя необходимо на спектрофотометре записывать длинноволновую полосу спектра поглощения облученного раствора. Визуально по обесцвечиванию раствора (на основе сравнения с предварительно построенной градуировочной цветовой шкалой) можно судить о величине интегральной радиационной дозы воздействовавшей на раствор с невысокой точностью: примерно 15% [4, 5].

Для увеличения точности визуального определения интегральной радиационной дозы, предложено использовать многокомпонентный раствор красителей, состоящий из растворителя и нескольких красителей, поглощающих в различных спектральных участках видимой области спектра и обладающих различной радиационной стойкостью. Такой многокомпонентный раствор будет не только обесцвечиваться при гамма-облучении, т. е. уменьшать интенсивность окраски, но и изменять цвет, приближаясь к цвету раствора наиболее радиационно-стойкого красителя. Первоначальный цвет многокомпонентного раствора можно варьировать, изменяя относительную концентрацию красителей. Для практического использования необходимо приготовить раствор содержащий, как минимум, два красителя, один из которых поглощает в коротковолновой, а другой – в длинноволновой области видимого спектра. При этом выбранные красители в применяемом растворителе (вода, спирты и т. д.) не должны химически взаимодействовать друг с другом и с продуктами радиационной деструкции красителей.

С помощью спектральных методов в данной работе исследовано влияние гамма-излучения на спектральные свойства водных трехкомпонентных растворов. Наименьшим фэдингом обладали водные растворы следующих пар красителей: кислотный алый + метиленовый голубой, родамин 6Ж + кислотный ярко-голубой 3; родамин С + бриллиантовый зеленый,

Na-флуоресцеин + метиленовый голубой, кислотный алый + малахитовый зеленый. В водных растворах этих пар красителей также не наблюдалось химического взаимодействия красителей между собой и с продуктами радиационной деструкции красителей. Поэтому водные растворы указанных пар красителей могут успешно использоваться для визуального определения радиационной дозы в диапазоне 30 – 5000 Гр. Нижняя граница радиационной дозы – примерно 30 Гр соответствует минимальному визуально определяемому изменению цвета трехкомпонентного раствора, а верхняя граница – примерно 5000 Гр соответствует практически полному обесцвечиванию раствора. Верхняя граница определяемого визуального значения радиационной дозы может быть значительно увеличена за счет применения других растворителей. Так, например, доза полуобесцвечивания Na-флуоресцеина в изопропиловом спирте составляет  $4,7 \cdot 10^3$  Гр, т.е. в 17,4 раза выше, чем для водного раствора Na-флуоресцеина, а в матрице поливинилового спирта (твердый раствор красителя) составляет  $5,7 \cdot 10^4$  Гр, что в 210 раз выше, чем для водного раствора.

Характерные величины радиационных доз, необходимых для полуобесцвечивания (уменьшения вдвое интенсивности длинноволновой полосы поглощения красителя) водных растворов исследованных красителей, имеют следующие значения (в Гр  $\cdot 10^{-2}$ ): кислотный ярко-голубой 3 (2,5), кислотный зеленый антрахиноновый H2C (2,5), метиленовый голубой (3,3), бриллиантовый зеленый (6,3), малахитовый зеленый (2,3), Na-флуоресцеин (2,7), конго красный (4,5), кислотный алый (4,1), кислотный желтый светопроочный (4,7), родамин 6Ж (5,6), родамин С (2,2), трипафлавин (5,7), фуксин (11), эозин (8,6).

Проведенные исследования радиационной стойкости многокомпонентных водных растворов красителей показали, что некоторые из исследованных растворов перспективны для использования в качестве детекторов интегральной радиационной дозы и усредненной мощности дозы.

Для практического применения достаточно поместить несколько капель раствора в стеклянный сосуд. По визуально определяемому (на основе сравнения с предварительно построенной градуировочной цветовой шкалой) изменению цвета многокомпонентного раствора красителей можно судить о величине интегральной радиационной дозы воздействовавшей на раствор. Точность такого визуального определения радиационной дозы, согласно проведенным оценкам, составляет примерно 8–10%. Детекторы интегральной радиационной дозы и усредненной мощности дозы на основе многокомпонентных растворов красителей очень дешевы, просты и удобны в использовании.

Чтобы устранить деструкцию красителей под воздействием видимого и ультрафиолетового света, стеклянный сосуд с раствором или окрашенную полимерную пленку следует обернуть черной бумагой или поместить в непрозрачный полиэтиленовый пакет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов, Б.И. Введение в химию и технологию органических красителей / Б.И. Степанов. – М.: Химия, 1977. – 488 с.
2. Попечиц, В.И. Спектроскопическое исследование радиационной устойчивости растворов красителей / В.И. Попечиц // Спектроскопия и люминесценция молекулярных систем / БГУ. НАН Беларуси. – Минск: БГУ, 2002. – С. 275 – 286.
3. Попечиц, В.И. Влияние гамма-облучения на спектральные характеристики растворов ксантеновых красителей / В.И. Попечиц // Вестник БГУ. Сер. 1. – 2008. – № 2. – С. 49 – 52.
4. Попечиц, В.И. Визуализаторы гамма-излучения для радиологического мониторинга окружающей среды / Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 11-й Международной научной конференции / В.И. Попечиц // Международный государственный экологический университет им. А.Д.Сахарова. – Минск, 2011. – С. 308 – 309.
5. Попечиц, В.И. Влияние гамма-излучения на твердые и жидкие растворы ксантеновых красителей / В.И. Попечиц //

Актуальные проблемы физики твердого тела: сборник докладов Международной научной конференции. В 3 томах. / Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению. – Минск, 2011. – Т. 3. – С. 200 – 202.

УДК 376

Прохоров О.А., Дробыш А.А.

## **ПЛОТНОСТЬ ОБРАЗЦОВ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА**

*БНТУ, г. Минск*

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) благодаря своим уникальным свойствам (тугоплавкости, химической и радиационной стойкости, высокой удельной прочности) применяются обычно в тех областях техники, где невозможно использование традиционных материалов.

В общем виде УУКМ состоят из углеродных волокон и матрицы, полученной карбонизацией (графитацией) углерод-содержащих прекурсоров.

Объемная доля углеродного волокна в УУКМ обычно составляет 25 – 50 %. Это связано как с относительно высокой стоимостью углеродного волокна, так и с возможностями технологии переработки [1, 2]. Поэтому существенная доля плотности композита приходится на углеродную матрицу, расположенную между армирующими волокнами.

При изготовлении преформ на основе углеродного волокна обычно требуется применение вспомогательных связующих, которые препятствуют деформации каркаса при пропитке, а затем полностью либо частично удаляются в газовую фазу при пиролизе. Целью настоящей работы является исследование влияния состава связующих на основе поливинилового спирта и бакелитовых смол на изменение плотности образцов УУКМ в процессах пропитки / карбонизации. Задача повышения плотности материала может быть решена введением в пористый каркас на основе углеродного волокна порошкового графита.