

Следовательно, для данной метрики в совокупности с идеальной жидкостью несопутствующая пыль и чистое излучение дают совпадающие решения.

Плотность энергии и давление сопутствующей жидкости:

$$\varepsilon = \frac{3(\alpha^2 - h^2)C_1}{\alpha^2} + \frac{R}{C^2(t)}, \quad R = R(\alpha, h, V) - \text{const},$$

$$p = \frac{3(h^2 - \alpha^2)C_1}{\alpha^2} + \frac{(h^2 - \alpha^2)(\alpha^2 - 4E)}{4\alpha^2 C^2(t)}, \quad (5)$$

а чистое излучение описывается как

$$Wk_0^2 = \frac{2\alpha^4 + 2\alpha^2 - \alpha^2 h^2 - 4h^2 E}{2\alpha^2 C^2(t)}.$$

Из (4) и (5) следует, что

$$\beta = -1 + \frac{N}{3(\alpha^2 - h^2)C^2(t) + \alpha^2 R},$$

то есть можно сделать такой же вывод, что сопутствующая жидкость может быть квинтэссенцией при $\frac{N}{\alpha^2 - h^2} > 0$ или в фантомной материей при $\frac{N}{\alpha^2 - h^2} < 0$ в определенные периоды времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Madsen M. S. // *Class. Quantum Grav.* – 1988. – V. 5. – P. 627.
2. Bradley J. M. and Sviestins E. // *GRG.* – 1984. – V. 16. – No. 22.
3. Панов В. Ф. // *Изв. вузов. Физика.* – 1989. – Т. 32. – № 5.
4. Кувшинова Е. В., Панов В. Ф., Сандакова О. В. // Тез. докл. конф. RUDN-10. – М., 2010.

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия
E-mail: pnvin@yandex.ru

Поступило в редакцию 27.01.12.

Павелкин Владимир Николаевич, к.ф.-м.н., зав. каф. алгебры и геометрии.

УДК 661.882.27:[538.958 + 539.215.2]

М.М. МИХАЙЛОВ, Г.Е. РЕМНЕВ, С.А. ДЖАБИЕВ, Р.В. САЗОНОВ

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ TiO₂, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ SiO₂

Ключевые слова: порошки, модифицирование, покрытия, облучение, полосы поглощения.

Порошки SiO₂ обладают высокой радиационной стойкостью, поэтому их используют в качестве защитных слоев, нанесенных на различные пигменты [1], а также в качестве добавок в смеси с пигментами [2]. Нанопорошки различных оксидов, применяемые для модифицирования пигментов, выполняют роль центров релаксации электронов и дырок, образованных облучением, и тем самым повышают их радиационную стойкость. Поэтому представляет интерес сочетание этих двух функций в нанопорошках SiO₂ при модифицировании ими пигментов. В настоящей работе такие исследования выполнены на порошках диоксида титана, являющихся наиболее широко применяемыми пигментами как в земных, так и в космических условиях для создания терморегулирующих покрытий.

Порошок диоксида титана «Соликамский», используемый в лакокрасочной промышленности, смешивали в соотношении 93:7 мас. % с нанопорошком диоксида кремния, синтезированным из SiCl₄ под электронным пучком наносекундной длительности [3]. Смесь порошков TiO₂ и SiO₂ перетирала, диспергировали в дистиллированной воде, высушивали при 150 °С, перетирала, прогрели 2 ч при 800 °С и снова перетирала. Образцы для исследования приготавливали смешиванием исходного и модифицированного порошков с лаком КО-859 в соотношении 0,4:0,6, нанесением пасты на алюминиевые подложки диаметром 24 мм, высушиванием при комнатной температуре в течение 24 ч.

Спектры диффузного отражения (ρ_λ) до ($\rho_{\lambda 0}$) и после ($\rho_{\lambda \Phi}$) облучения регистрировали в установке-имитаторе условий КП «Спектр» [4] по точкам в диапазоне 0,3–2,1 мкм на месте облучения (*in situ*) электронами ($E = 30$ кэВ, $\varphi = 1 \cdot 10^{12}$ см⁻²·с⁻¹, $\Phi = 0,5\text{--}2 \cdot 10^{16}$ см⁻², $T = 300$ К) в вакууме 10^{-4} Па. Погрешность определения

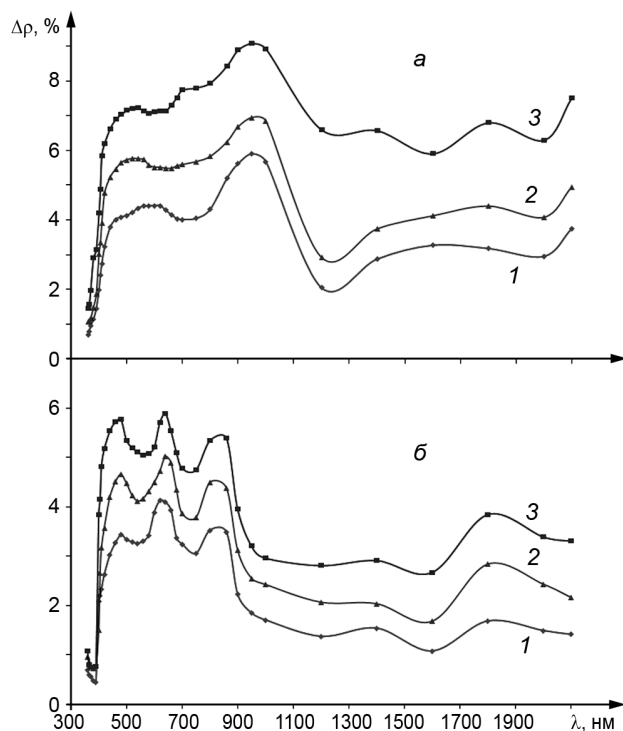


Рис. 1

коэффициента отражения составляла 0,2–0,3 абс. % в области $\lambda \leq 1000$ нм и 2 % в более длинноволновой области. Спектры поглощения, наведенного облучением, рассчитывали вычитанием спектров после облучения из спектров до облучения ($\Delta\rho_\lambda = \rho_{\lambda 0} - \rho_{\lambda \Phi}$).

Модифицирование приводит к незначительному и примерно одинаковому по всему спектру (2–3 %) уменьшению коэффициента отражения порошка диоксида титана.

В разностных спектрах диффузного отражения (рис. 1) облученных порошков появляются полосы поглощения во всей области от края основного поглощения диоксида титана (рутила) и до 2,1 мкм. При этом проявляются отдельные максимумы при 410, 500, 800–900 и 1800 нм. Зависимости значений $\Delta\rho$ покрытий на основе немодифицированного порошка TiO_2 (рис. 1, а, $\Delta\rho_0$) и модифицированного нанопорошком SiO_2 (рис. 1, б, $\Delta\rho_\Phi$) и их отношения ($K = \Delta\rho_0/\Delta\rho_\Phi$) от флюенса электронов (кр. 1 – 0,5; кр. 2 – 1; кр. 3 – $2 \cdot 10^{16}$ см⁻²) для длин волн 410, 500, 800, 1000 и 1800 нм приведены в таблице.

Из таблицы следует, что величины $\Delta\rho$ покрытий на основе модифицированного порошка меньше по сравнению с немодифицированным порошком для всех областей спектра и флюенсов

электронов. Это позволяет сделать общий вывод о целесообразности такого модифицирования с целью повышения радиационной стойкости покрытий, изготовленных на основе этих порошков. Величина K , характеризующая относительное повышение радиационной стойкости, отличается для различных участков спектра.

В области 410–480 нм значения K находятся на уровне 1,2 и не зависят от флюенса электронов. Для полосы при 560 нм K составляет 1,3–1,4 и увеличивается с увеличением флюенса электронов. Для полосы при 560 нм K составляет 1,3–1,4 и увеличивается с увеличением флюенса электронов. В ближней ИК-области значения K большие по сравнению с видимой областью.

Так, на длине волны 800 нм оно находится на уровне 1,2–1,5 и увеличивается с увеличением флюенса электронов. При $\lambda = 1000$ нм K достигает наибольших значений (2,8–3,4), с ростом флюенса электронов оно уменьшается. На длине волны 1800 нм оно составляет 1,5–1,9 и также уменьшается с увеличением флюенса электронов.

Таким образом, максимальное отличие значений K или эффективности модифицирования для данного диапазона спектра и флюенсов электронов достигает почти трех раз ($K = 3,4$ для 1000 нм и $K = 1,2$ для 410–480 нм), т.е. концентрация радиационных дефектов, определяющих полосы поглощения в области 410–480 нм, в 3 раза меньше по сравнению с концентрацией радиационных дефектов, определяющих поглощение в области полосы при 1000 нм.

Так как полосы поглощения собственных точечных дефектов SiO_2 и полосы поглощения радикалов лака КО-859 расположены, в основном, в УФ- и частично в видимой областях, то регистрируемые полосы в ближней ИК-области спектра обусловлены собственными радиационными дефектами диоксида титана. Поэтому можно принять, как и для немодифицированного диоксида титана, что в области 1000 нм покрытий на основе модифицированных порошков расположена полоса поглощения F -центров, в области 1800 нм – полоса F^+ -центров, а в области короче 560 нм – полосы поглощения дефектов катионной подрешетки [5–7]. Тогда можно сделать следующее заключение: наибольшая эффективность модифицирования наночастицами SiO_2

| Φ , см ⁻² | λ , нм | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|
| | | 410 | 480 | 560 | 800 | 1000 | 1800 | |
| $0,5 \cdot 10^{16}$ | C, % | $\Delta\rho_0$ | 2,7 | 4,1 | 4,4 | 4,3 | 5,7 | 3,2 |
| | | $\Delta\rho_\Phi$ | 2,3 | 3,4 | 3,3 | 3,5 | 1,7 | 1,7 |
| | | K | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 3,4 | 1,9 |
| $1 \cdot 10^{16}$ | C, % | $\Delta\rho_0$ | 3,9 | 5,7 | 5,7 | 5,8 | 6,8 | 4,4 |
| | | $\Delta\rho_\Phi$ | 3,2 | 4,7 | 4,2 | 4,5 | 2,4 | 2,8 |
| | | K | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,3 | 2,8 | 1,5 |
| $2 \cdot 10^{16}$ | C, % | $\Delta\rho_0$ | 5,8 | 7,0 | 7,1 | 7,9 | 8,9 | 6,8 |
| | | $\Delta\rho_\Phi$ | 4,8 | 5,8 | 5,0 | 5,3 | 3,0 | 3,8 |
| | | K | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 3,0 | 1,8 |

наблюдается для полос поглощения анионных вакансий, меньшая – для полос дефектов катионной подрешетки диоксида титана.

Этот вывод согласуется с ранее сделанными выводами при модифицировании порошков диоксида титана наночастицами других оксидов (Al_2O_3 , ZrO_2): радиационная стойкость модифицированных наночастицами порошков TiO_2 и отражающих покрытий, изготовленных на их основе, выше радиационной стойкости немодифицированных порошков диоксида титана и покрытий, изготовленных на их основе. Такой же вывод сделан и по фотостойкости после облучения покрытий и порошков TiO_2 спектром лампы, имитирующей спектр излучения солнца [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свешникова Г.В., Кольцов С.И., Алесковский В.Б. // Журн. неорганической химии. – 1970. – Т. 43. – № 5. – С. 1150–1152.
2. Михайлов М.М., Кузнецов Н.Я., Стась Н.Ф. и др. // Неорганические материалы. – 1990. – Т. 26. – № 9. – С. 1889–1892.
3. Ремнев Г.Е., Сазонов Р.В. // Патент РФ № 2264888. Оpubл. 07.20.2005.
4. Косицын Л.Г., Михайлов М.М., Кузнецов Н.Я. и др. // ПТЭ. – 1985. – № 4. – С. 176–180.
5. Чесноков Б.В. // ДАН СССР. – 1959. – Т. 129. – № 3. – С. 647.
6. Богомолов В.Н., Мирлин Д.Н. // Письма в ЖЭТФ. – 1967. – Т. 5. – № 9. – С. 293.
7. Кудинов Е.К., Мирлин Д.Н., Фирсов Ю.А. // ФТТ. – 1969. – Т. 11. – № 10. – С. 2789.
8. Михайлов М.М., Дедов Н.В., Соколовский А.Н., Шарфутдинова В.В. // Изв. вузов. Физика. – 2007. – Т. 50. – № 7. – С. 90–92.

Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, г. Томск, Россия
E-mail: membrana2010@mail.ru

Поступило в редакцию 14.02.12.

Михайлов Михаил Михайлович, д.ф.-м.н., профессор, зав. лаб. радиационного и космического материаловедения;
Ремнев Геннадий Ефимович, д.т.н., профессор, зав. лаб. наносекундных ускорителей;
Джабиев Сослан Анатольевич, аспирант;
Сазонов Роман Владимирович, к.ф.-м.н., науч. сотр. лаб. наносекундных ускорителей.

УДК 530.12:531.51

О.В. БАБУРОВА, К.Н. ЛИПКИН, Б.Н. ФРОЛОВ

ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ СО СКАЛЯРНЫМ ПОЛЕМ ДИРАКА И ПРОБЛЕМА КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ¹

Ключевые слова: скалярное поле, пространство Картана–Вейля, космологическая постоянная, темная энергия.

На ранней стадии развития Вселенной, когда массы покоя элементарных частиц еще не возникли, все взаимодействия осуществлялись безмассовыми квантами. В этом случае эти взаимодействия обладают свойством масштабной инвариантности (независимостью от абсолютной величины интервалов), и группой симметрии пространства, в котором существуют эти поля, является группа Пуанкаре – Вейля. В работах [1, 2] создана калибровочная теория группы Пуанкаре – Вейля и показано, что тогда в пространстве-времени индуцируется геометрическая структура пространства Картана – Вейля SW_4 с 2-формами кривизны R^a_b и кручения T^a :

$$R^a_b = d\Gamma^a_b + \Gamma^a_c \wedge \Gamma^c_b, \quad T^a = d\theta^a + \Gamma^a_b \wedge \theta^b, \quad (1)$$

а также 1-формой неметричности вейлевского типа $Q_{ab} = Q_{ab\mu} h^\mu_c \theta^c$, $Q_{ab\mu} = -\nabla_\mu g_{ab}$,

$$Q_{ab} = \frac{1}{4} g_{ab} Q, \quad Q = Q_c \theta^c, \quad Q = g^{ab} Q_{ab}, \quad Q_c = g^{ab} Q_{abc} = Q^a_{ac}. \quad (2)$$

В (1) и (2) θ^a – кобазисная 1-форма; \wedge – символ внешнего умножения; d – оператор внешнего дифференцирования; ∇_μ – символ ковариантного дифференцирования; Γ^a_b – 1-форма связности. Как показано в [1, 2], из требований пуанкаре-вейль-калибровочной теории гравитации вытекает необходимость введения в качестве дополнительной компоненты метрического тензора скалярного поля β , совпадающего по своим свойствам со скалярным полем, введенным Дираком в работе [3].

¹ Данная поисковая научно-исследовательская работа проведена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.