

Наноструктурированные антиотражающие покрытия на основе аморфного диоксида кремния для силикатного стекла и фотоэлектрических преобразователей

© Авторы, 2014

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2014

С.В. Еськин – инженер, Саратовский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

E-mail: vn.stanislav@gmail.com

Н.М. Ушаков – д.ф.-м.н., зав. лабораторией, Саратовский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

На силикатном стекле методом адсорбции из раствора получены плотное и пористое антиотражающие покрытия на основе фрактальных и сферических наночастиц SiO₂ соответственно. Показано, что плотное покрытие увеличивает оптическое пропускание стекла в среднем на 2,5–3,5 %, на определенной λ повышает прочность флоат-стекла на центрально-симметричный изгиб не менее чем на 25 % с обеих лицевых поверхностей, а также, обладая высокой твердостью, защищает подложку от повреждений в процессе эксплуатации. Рассмотрены возможность комбинированного применения таких наноструктурированных покрытий в различных конструкциях и перспектива использования плотного антиотражающего покрытия для фотоэлектрических преобразователей на основе кристаллического кремния.

Ключевые слова: антиотражающее покрытие, диоксид кремния, наночастицы.

Антиотражающие покрытия активно используются для создания сверхпрозрачных композиционных стекол и эффективных фотоэлектрических преобразователей. В большинстве случаев они наносятся на подложки методами напыления (PVD- и CVD-процессы, вакуумное магнетронное напыление и др.), которые требуют наличия дорогостоящего и относительно сложного оборудования. Альтернативным экономичным и простым методом получения тонких покрытий на различных подложках является золь-гель технология.

Цель работы – получение антиотражающих покрытий на основе наночастиц (НЧ) SiO₂ для силикатного стекла методом адсорбции из раствора.

Синтез НЧ SiO₂ происходил из тетраэтоксисилана в среде этанола в присутствии уксусной кислоты или аммиака в качестве катализатора реакций синтеза. Нанесение покрытий осуществлялось методом адсорбции из раствора. Стекло с плотным покрытием подвергалось термообработке при 500±5 °С.

Плотное покрытие состоит из сшитых (связанных химическими связями) фрактальных (имеющих разветвленную структуру, $d \approx 1,5$ и $R_g = 11,70 \pm 0,94$ нм) наночастиц SiO₂. Покрытие имеет показатель преломления 1,46 на $\lambda = 550$ нм. Следовательно, обладая пониженным по сравнению со стеклом ($n = 1,53 \pm 0,02$ на $\lambda = 550$ нм) показателем преломления, покрытие (нанесенное с обеих сторон подложки) толщиной 90 ± 4 нм повышает оптическое пропускание натриево-кальциевого силикатного стекла приблизительно на 2,5–3,5 % за счет интерференции отраженных волн от границ воздух-покрытие и покрытие-стекло (рис. 1 и 2). Рассматриваемое покрытие толщиной 130±5 нм позволяет снизить отражение от поверхности кремниевого фотоэлектрического преобразователя более чем на 15 % в диапазоне $\lambda = 400 \dots 1200$ нм. Более того, при нанесении плотного покрытия толщиной 90 ± 5 нм на флоат-стекло прочность последнего на центрально-симметричный изгиб повышается более чем на 25 % как со стороны верхней, так и со стороны нижней поверхности. Обладая относительно высокой твердостью (нано-твердость термообработанного покрытия приблизительно равна нано-твердости стекла), покрытие также защищает поверхность стекла от повреждений.

Покрытие на основе сферических наночастиц SiO₂ (средний диаметр – 38±2 нм, PDI=0,107±0,005) имеет низкий эффективный показатель преломления – около 1,35 на $\lambda = 550$ нм, за счет своей развитой пористости ($\Pi > 25$ %), достигаемой неплотной упаковкой частиц и наличием в них супермикропор. Поэтому такое покрытие (нанесенное с обеих сторон подложки) толщиной 112±4 нм повышает оптическое пропускание силикатного стекла приблизительно на 6,0–7,0 %.

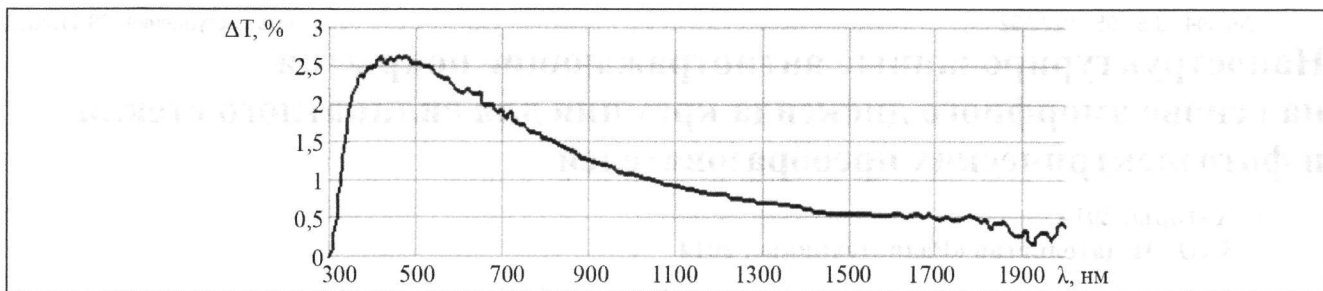


Рис. 1. График изменения оптического пропускания стекла с просветляющим покрытием на основе фрактальных частиц SiO_2 относительно стекла без покрытия ($\Delta T = T_{\text{стекло с покрытием}} - T_{\text{стекло}}$) при угле падения излучения на образец, близком к нормальному

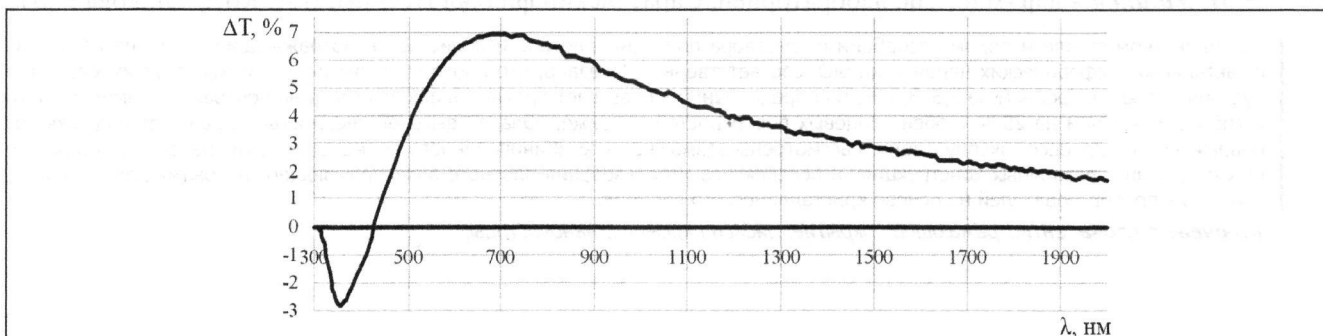


Рис. 2. График изменения оптического пропускания стекла с просветляющим покрытием на основе сферических частиц SiO_2 , относительно стекла без покрытия ($\Delta T = T_{\text{стекло с покрытием}} - T_{\text{стекло}}$) при угле падения излучения на образец, близком к нормальному

Nanostructured anti-reflection coatings based on amorphous silica for silica glass and solar cells

© Authors, 2014

© Radiotekhnika, 2014

S.V. Eskin – Engineer, Saratov branch of the Kotel'nikov Institute of Radio Engineering, and Electronics Russian Academy of Sciences

E-mail: vn.stanislav@gmail.c

N.M. Ushakov – Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor, Head of the Laboratory, Saratov branch of the Kotel'nikov Institute of Radio Engineering, and Electronics Russian Academy of Sciences

Dense and porous anti-reflection coatings based on fractal and spherical silica nanoparticles, respectively, were fabricated on silica glass by dip-coating process. The dense coating increases silica glass transmission by 2,5 – 3,5 % at selected wavelength and the substrate bending strength by 25 %. The porous coating increases silica glass transmission by 6,0–7,0 % at selected wavelength.

Keywords: anti-reflection coating, nanoparticle, silica.