

Растущий интерес к альтернативным и возобновляемым источникам энергии, таким, как энергия ветра и солнечного света, гидро- и геотермальная энергия, вызван экологическими соображениями, с одной стороны, и ограниченностью традиционных земных ресурсов - с другой. Особое место среди альтернативных и возобновляемых источников энергии занимают фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии [1]. Для регионов с низкой интенсивностью солнечного излучения актуальной задачей является увеличение эффективности работы солнечных батарей. Одним из решений данного вопроса является нанесения просветляющих покрытий на защитные стекла или непосредственно на фронтальную поверхность солнечных элементов [2]. Эффект просветления достигается путем нанесения на поверхность подложки одного или нескольких слоев специального материала определенной толщины с подходящим показателем преломления [3]. С увеличением количества слоев технология усложняется и как следствие увеличивается ее стоимость, поэтому актуальны исследования в области создания однослойных просветляющих покрытий с низкими показателями преломления и высокой пропускной способностью. Известно, что, если толщина просветляющего слоя равняется $1/4$ длины световой волны, то лучи, отражённые от её наружной и внутренней сторон, погасятся вследствие интерференции и их интенсивность станет равной нулю. Для наилучшего эффекта показатель преломления просветляющей плёнки должен равняться квадратному корню показателя преломления оптического стекла. Наиболее подходящим материалом для просветляющей пленки является диоксида кремния аморфной структуры [4]. В данной работе исследован процесс получения прозрачных тонкопленочных покрытий (Пк) из диоксида кремния. Для получения покрытий использовался аммиачный золь кремниевой кислоты, полученный из жидкого стекла по золь-гель технологии, с разной концентрацией диоксида кремния. Полученные композиции наносили окунанием, после чего сушили при комнатной температуре до образования пленки. На стеклах формировались тонкие прозрачные Пк толщиной 100-400 нм. По данным фотокорреляционной спектроскопии и измерениям на анализаторе Malvern Zetasizer Nano ZS размер частиц диоксида кремния находится в пределах 10-15 нм. После формирования покрытий при их визуальном наблюдении под разными углами было установлено, что они обладают интерференционным эффектом [5]. Спектры пропускания полученных покрытий в диапазоне длин волн 330-1100 нм снимали при помощи спектрофотометра Proscan MC 122. Измерения проводили с шагом 10 нм. Результаты исследования оптических свойств покрытий представлены на рис. 1 и 2. Рис. 1 - Спектры пропускания стеклянных образцов с покрытием, полученным из золя диоксида кремния с концентрацией: 1 - стекло без покрытия; 2 -1%; 3 -3%; 4 - 5% Из спектров пропускания, представленных на рис. 1, видно, что стекло без покрытия имеет максимум светопропускания 91,10% при длинах волн 550-650 нм

(кривая 1), светопропускание монотонно понижается до 87,45% при смещении длин волн в ближнюю ИК-область. Стекло не пропускает УФ-излучение с длиной волны менее 325 нм. Прозрачные покрытия из мезопористого диоксида кремния увеличивают светопропускание стекла (наблюдается эффект просветления) в интервале длин волн 350-1100 нм. Максимум пропускания 96,91% (просветление 5,81%) наблюдается при 3%-ной концентрации диоксида кремния в золе (кривая 3). При уменьшении концентрации диоксида кремния до 3% наблюдается увеличение светопропускания. Однако при дальнейшем разбавлении золя наблюдается ухудшение пропускной способности формируемых из него покрытий (рис. 2). Рис. 2 - Зависимость светопропускания ($\lambda=540\text{нм}$) стеклянных образцов с покрытием от концентрации диоксида кремния. Для визуализации на микрометровом уровне полученных покрытий использовался оптический лазерный измерительный микроскоп марки Olympus Lext OLS40003D. Рис. 3 - Микрофотографии покрытий из золь-гелей диоксида кремния с разной концентрацией: а) 1%, б) 3%, в) 5%, г) 10%. По данным, представленным на рисунке 3, можно сказать, что в области б рис.3, соответствующей 3%-ной концентрации диоксида кремния, наблюдается сплошная пленка и наиболее равномерное распределение частиц в объеме покрытия по сравнению с остальными областями. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что оптимальное содержание диоксида кремния в композициях для нанесения просветляющих покрытий на стеклянные подложки составляет 3% масс. При этом наблюдается формирование прочной равномерной интерференционной пленки и увеличение светопропускания стеклянной подложки в всем видимом диапазоне и ближней инфракрасной области (рис. 4). Рис. 4 - Изменение 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