

## Разработка технологии формирования просветляющих покрытий для фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии методом ВЧ-магнетронного распыления

*Д. А. Кудряшов<sup>1</sup>, Д. А. Минаков<sup>2</sup>, А. С. Гудовских<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский академический университет, Санкт-Петербург, Россия.

*тел: (812) 448-69-80, эл. почта: kudryashovda@gmail.com*

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

Альтернативные источники энергии привлекают все большее внимание, особенно в последнее время в связи с возросшим числом техногенных аварий. Солнечная энергия на сегодняшний день является наиболее доступной, а фотопреобразователи солнечного излучения совершенствуются с каждым днем. В то же время остается актуальной проблема, связанная с потерями на отражение части солнечного света от границы фотоэлемента, проявляющаяся в снижении КПД солнечного фотопреобразователя. С этой точки зрения работа, посвященная разработке технологии формирования просветляющих покрытий для фотоэлектрических преобразователей, представляется весьма актуальной, учитывая ко всему прочему тот факт, что приведенные в научной литературе технологические режимы получения просветляющих покрытий зачастую неполны и порой крайне противоречивы.

Целью данной работы является разработка технологии формирования просветляющих покрытий  $\text{SiO}_x$  и  $\text{TiO}_x$  для солнечных фотопреобразователей методом ВЧ-магнетронного распыления; определение зависимостей свойств данных покрытий от условий распыления и выбор наилучших условий получения просветляющих покрытий.

Формирование слоёв  $\text{SiO}_x/\text{TiO}_x$  проводилось на установке ВЧ-магнетронного распыления BOC EDWARDS Auto 500RF Sputter Coater, расположенной в "чистой комнате" Академического университета. Напыление тонких пленок производилось при мощности магнетрона 250–450 Вт и давлении в рабочей камере  $10^{-4}$  -  $10^{-3}$  мбар. В качестве рабочего газа для поддержания плазмы использовался аргон марки «в.ч.» (99,999%). Для выращивания оксидных слоёв в камеру дополнительно подавался кислород. Использовались титановая и кремниевая мишени диаметром 3". Напыление слоев производили на подложках из монокристаллического Si(100) и стеклянных пластинах. Скорость вращения подложкодержателя

составляла 1 об/сек. Контроль толщины полученных слоёв проводился при помощи профилометра AMBiOS XP-1. Показатель преломления определялся на эллипсометре HORIBA JOBIN YVON. Удельное сопротивление тонких пленок определяли при помощи прецизионного мультиметра Keithley 6517B.

Было определено, что скорость роста слоя осаждаемых слоев максимальна и постоянна на расстоянии  $0 \pm 6$  см от центра подложкодержателя, при большем отдалении скорость роста снижается, что связано с особенностями расположения магнетрона относительно подложки. Было показано, что скорость роста кремния также как и титана экспоненциально падает с повышением парциального давления аргона в рабочей камере. Дальнейшие эксперименты проводили при потоке аргона в камеру  $2 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

Введение кислорода в рабочий объем приводило к формированию на подложке оксидных соединений —  $\text{SiO}_x$  либо  $\text{TiO}_x$ , в зависимости от используемой мишени. При этом незначительное повышение парциального давления кислорода приводило к резкому снижению скорости роста. Были выращены 200 нм слои оксида кремния и оксида титана на кремнии и стекле при условиях, соответствующих их максимальной скорости роста; определены показатели преломления пленок и величины их удельного сопротивления. Показатели преломления оксида кремния и титана составляют 1,48 и 2,17 соответственно. Удельное сопротивление  $\text{SiO}_2$  составляет  $3,5 \cdot 10^{10}$  Ом·см, а  $\text{TiO}_2$  -  $10^6$  Ом·см. Таким образом, разработанная нами технология формирования оксидных пленок титана и кремния вполне может быть применима для создания просветляющих покрытий для фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии.