Изучение процессов преобразования твёрдых частиц оксидов кремния в поликристаллический кремний в аргоново-водородных газоплазменных потоках

Гришин Ю.М., Козлов Н.П., Скрябин А.С.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

В настоящее время накоплен некоторый экспериментальный опыт [1] в исследованиях перспективных плазменных методов получения поликристаллического кремния из его оксидов в высокоэнтальпийных потоках плазмы. Однако имеющихся на настоящий момент данных не достаточно для создания на их основе соответствующих промышленных технологий. В МГТУ им. Н.Э. Баумана в настоящее время проводятся экспериментально-теоретические работы по изучению плазменного метода прямого получения кремния из его оксидов – кварца и твёрдого монооксида кремния – в потоке аргоново-водородной плазмы, генерируемой электродуговыми и индукционными плазмотронами различных мощностей. Метод реализуется непосредственно в ходе высокотемпературного испарения частиц оксидов, пиролиза их молекул, осуществлении газофазного процесса связывания выделяющегося при этом кислорода атомарным водородом в потоке плазмы аргона и дальнейшей объёмной конденсации паров свободного кремния.

Проведённые теоретические исследования процесса испарения частиц кварца и монооксида кремния в газоплазменных потоках различных плазмотронов показали, что с использованием электродуговых плазмотронов с потребляемой мощностью 3,0-5,0 кВт с эффективностью до 90 % могут быть испарены частицы с начальными размерами до 10 мкм. Повышение мощности плазмотронов до 30,0-50,0 кВт позволяет с той же эффективностью испарять частицы оксидов с размерами 30,0-50,0 мкм. Использование индукционных плазмотронов может обеспечить эффективное испарение частиц с размерами до 100 мкм при потребляемой мощности до 50 кВт. На основании расчётных исследований химических процессов связывания кислорода водородом с образованием паров воды и свободного кремния определены оптимальные режимные и конструктивные параметры соответствующего узла установки – газохимического реактора (ГХР). Показано, что при скорости охлаждения реагирующего газового потока на уровне 105-106 К/с выход паров свободного кремния может достигать 90 %. При этом диаметр ГХР должен составлять 1-3 см при его длине от 5 до 60 см (при вариации потребляемой мощности плазмотрона от 2 до 20 кВт). Проведённый анализ процесса объёмной конденсации паров кремния показал, что при среднемассовой скорости потока 5·10-2 м/c и длине реактора-конденсатора 25-50 см возможно осуществление конденсации более чем 90 % паров кремния в виде частиц с размерами до 100-200 мкм.

Экспериментальные исследования, выполненные с использованием лабораторного стенда на базе электродугового плазмотрона с потребляемой мощностью до 3,0 кВт, позволили установить, что при прочих равных режимных параметрах выход кремния существенным образом зависит от размера перерабатываемых частиц и может достигать значений до 60 % при использовании частиц оксидов с начальным размером менее 20 мкм. Поликристаллический кремний получен в виде сфероподобных частиц со средним размером до 200 мкм и чистотой до 99,9 %.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-08-31138) и Госзаказа Минобрнауки № 7.3319.2011.*

Литература.

1. Гришин Ю.М., Козлов Н.П., Скрябин А.С., ТВТ, 2012. том 50. стр. 491.