Использование ИК спектроскопии для экспресс-анализа продуктов технологического процесса синтеза моносилана

В.М. Ротштейн*, Х.Б. Ашуров, Р.Х. Ашуров

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Мирзо-Улугбекский р-н, ул. Дўрмон йўли, 33, 100125, Ташкент, Узбекистан

Получена 04.11.2021.

* Corresponding author: e-mail Vladimir.rotshteyn@gmail.com, Phone: +998 93 3844004

Описана методика проведения экспресс-анализа триэтоксисилана и тетраэтоксисилана, являющихся промежуточными продуктами химических реакций, протекающих в рамках силановой технологии синтеза поликристаллического кремния. Для формирования методики использованы данные предварительных исследований триэтоксисилана и тетраэтоксисилана, полученные с помощью хромато-масс-спектрометра MSD 5975C–GC 7890 A. Непосредственно реализация экспресс-анализа триэтоксисилана и тетраэтоксисилана осуществлялась на ИК Фурье-спектрометре Agilent Technologies Cary 640 Series FTIR Spectrometer. При этом количественный экспресс-анализ, без необходимости наличия стандартов, производился на основе градуировочного графика, построенного с использованием соответствующих результатов хромато-масс-спектрометрических исследований.

Ключевые слова: хромато-масс-спектрометрия, инфракрасная спектроскопия, триэтоксисилан, тетраэтоксисилан, градуировочный график.

The method of express-analysis of triethoxysilane and tetraethoxysilane, which are intermediate products of chemical reactions occurring in the framework of the silane technology for the synthesis of polycrystalline silicon, is described. To form the method, we used the data of preliminary studies of triethoxysilane and tetraethoxysilane obtained using a MSD 5975C-GC 7890A gas chromatography-mass spectrometer. The immediate implementation of the express-analysis of triethoxysilane and tetraethoxysilane was carried out on an Agilent Technologies Cary 640 Series FTIR Spectrometer. At the same time, quantitative express-analysis, without the need of the presence of standards, was carried out on the basis of a calibration curve obtained from the corresponding results of gas chromatography-mass spectrometric studies.

Keywords: chromatography-mass spectrometry, infrared spectroscopy, triethoxysilane, tetraethoxysilane, calibration curve.

DOI: https//doi.org/10.52304/.v23i3.267

I. Введение

Кристаллический кремний доминирует на рынке фотоэлектрической энергетики без каких-либо признаков изменений в ближайшем будущем. Однако, технология формирования традиционных монокристаллических кремниевых солнечных ячеек на основе подложки *n*-типа сильно усложнена высокотемпературными диффузионными процессами [1]. Ряд решений, направленных на упрощение технологического процесса, увеличение эффективности ячеек, а также снижение себестоимости, предлагает технология гетеропереходных кремниевых солнечных ячеек (SHJ) [2]. Рекорд эффективности SHJ ячеек составляет 26.6% [3].

Также, они имеют лучшие показатели коэффициента заполнения и термического коэффициента по сравнению с традиционными кремниевыми ячейками [4]. Технологический процесс формирования SHJ ячеек состоит из усиленного плазмой химического (CVD) и физического (PVD) осаждения пара, которые заменяют высокотемпературные диффузионные процессы [5]. В данной технологии основным реагентом является моносилан [6]. Бесхлорная технология синтеза моносилана является перспективной технологией [7-9] и предполагает протекание целого ряда химических реакций, одними из основных промежуточных продуктов которых являются триэтоксисилан (TES) и тетраэтоксисилан (TEOS).

Качество и количество продуктов, синтезируемых в этих химических реакциях, во многом определяют получение качественного конечного продукта всего технологического процесса. В связи с этим очевидна необходимость контроля за этими продуктами в реальном времени, чтобы обеспечить возможность своевременной корректировки параметров технологического процесса, при необходимости их оптимизации непосредственно в ходе самого технологического процесса.

Такой контроль должен осуществляться в режиме экспресс-анализа, когда промежуток времени с момента отбора пробы до момента получения результатов анализа минимален. При этом, безусловно, должны обеспечиваться достоверность и качество получаемых в режиме экспресс-анализа данных.

II. Методы исследования

Для успешного решения этой задачи нами использованы аналитические возможности хромато-масс-спектрометра фирмы Agilent MSD 5975C–GC 7890A (MSD-GC) и ИК Фурье-спектрометра Agilent Technologies Cary 640 Series FTIR Spectrometer (ИК спектрометр), реализованные в процессе комплексных исследований TES и TEOS.

Следует отметить, что способ определения количественного содержания компонентов в смеси на основе интенсивности полос спектров комбинационного рассеяния исследуемых компонентов, без необходимости использования стандартных растворов, предложен в [10].

В [10] отношение концентрации каждого искомого компонента к концентрации базового *i*-ого компонента смеси вычисляется с использованием следующего выражения:

$$\frac{C_n}{C_i} = \frac{I_n}{I_i}\frac{\sigma_n}{\sigma_i}\frac{\mu_n}{\mu_i}, \qquad (1)$$

где C_n – концентрация искомого компонента (n = 1…N, а N соответствует общему числу компонентов смеси), C_i – концентрация базового i-ого компонента смеси (I = 1…N, а N соответствует общему числу компонентов смеси), при условии $n \neq i$, I_n – интенсивность полос комбинационного рассеяния n-ого исследуемого компонента смеси, I_i – интенсивность полос комбинационного рассеяния базового i-ого компонента смеси (как правило, интенсивность полосы комбинационного рассеяния доминирующего компонента), σ_n и σ_i – соответствующие сечения полос комбинационного рассеяния n-го и i-го компонентов, μ_n и μ_i – соответствующие молекулярные массы n-го и i-го компонентов.

Анализируя предлагаемый способ проведения количественного анализа, можно сделать вывод, что он, безусловно, может быть успешно применен для анализа простых смесей, состоящих из двух компонентов.

При большом количестве веществ, составляющих исследуемую смесь, для проведения корректного количественного анализа необходимо учитывать в расчетах не только интенсивность полос комбинационного рассеяния базового доминирующего компонента, но и вклад в формирование спектра комбинационного рассеяния абсолютно всех остальных компонентов смеси с соответствующими им сечениями полос комбинационного рассеяния и молекулярными массами, что представляется весьма затруднительной и трудно выполнимой задачей.

III. Экспериментальная часть и результаты

Используя метод хромато-масс-спектрометрии, с помощью хромато-масс-спектрометра MSD–GC нами были предварительно исследованы две группы по 10 образцов каждая, содержащие соответственно TES и TEOS.

Полученные результаты исследований содержания соответствующих продуктов в образцах представлены в таблице.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2021 г.

Таблица. Результаты количественного анализа образцов, содержащих TES и TEOS, полученные с использованием MSD-GC спектрометра.

	% содержание продукта в образце									
TES	31.7	35.2	37.5	39.3	43.2	44.8	48.4	51.2	51.8	54.9
TEOS	8.5	9.6	10.1	11.2	12.4	18.4	22.8	28.6	30.5	31.6

Качественный и количественный анализ с использованием MSD–GC представляет собой сложный, дорогостоящий и времязатратный процесс, и практически невозможно использовать его в качестве экспресс-анализа, в том числе и для решения нашей задачи. В связи с этим, для проведения корректных количественных исследований многокомпонентных смесей, без необходимости использования стандартных растворов, нами разработана оригинальная методика проведения экспресс-анализа таких смесей с помощью ИК спектрометра, в значительной степени лишенного указанных недостатков процесса анализа. При этом результаты исследований, полученные с помощью MSD–GC, используются в сочетании с данными исследований TES и TEOS, полученными с помощью ИК спектрометра, при построении соответствующих градуировочных графиков для количественного анализа исследуемых веществ.

Сама процедура проведения такого экспресс-анализа может быть описана следующей последовательностью действий:

– проводится анализ образцов с помощью MSD-GC, как описано выше, дающий количественные данные по определяемому веществу;

– проводится анализ этих образцов с помощью ИК-спектрометра. Определяются интегральные интенсивности пиков соответствующих ИК спектров, отвечающих за присутствие данного вещества в образце;

– полученные из ИК спектров данные сопоставляются с соответствующими количественными данными, полученными с помощью MSD-GC;

– на основании полученных экспериментальных данных строится градуировочный график, позволяющий проведение экспресс-анализа образцов на количественное содержание методом ИК спектроскопии, без дальнейшего использования, как уже отмечалось, сложного, дорогостоящего и времязатратного хромато-масс-спектрального метода с помощью MSD-GC.

Как известно, ИК спектрометр предназначен для идентификации, качественного и количественного анализа неизвестных материалов, определения функциональных групп в органических и неорганических веществах, количественного определения компонентов в различных смесях, для расшифровки структуры кристаллов. Спектральный диапазон прибора составляет 7900–375 $см^{-1}$ с оптическим спектральным разрешением <0.25 $см^{-1}$.

Принципиальная возможность использования ИК спектров для диагностики жидкостей заключается в высокой чувствительности количественных параметров спектральных полос соответствующих ИК спектров к типу и концентрации растворенных веществ в жидкой среде.

В качестве подлежащих исследованию на ИК спектрометре образцов, нами были использованы образцы TES, исследованные ранее на MSD-GC (см. таблицу).

Для примера на рис. 1 представлен ИК спектр образца, содержащего согласно результатам хромато-масс-спектрального анализа 31.7% TES.

Расшифровка основных характеристических полос колебательных спектров исследуемых образцов, достаточно успешно реализуется благодаря значительному количеству экспериментальных работ, посвященных определению характеристических полос органических соединений [11-16].

Ниже приведена расшифровка основных характеристических полос полученного ИК спектра образца:

– полосы с максимумами ν = 2975 $см^{-1}$, 2929 $см^{-1}$ и 2889 $см^{-1}$ соответствуют валентным колебаниям C-H групп;

– полоса с максимумом ν = 2255 $см^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям Si-H групп;

– полоса с максимумом ν = 559 $см^{-1}$ соответствует валентным колебаниям Si-H групп;

– полоса с максимумом ν = 733 $см^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям Si-O-Si групп;

– полоса с максимумом ν = 922 $см^{-1}$ соответствует валентным колебаниям Si-OH групп.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2021 г.

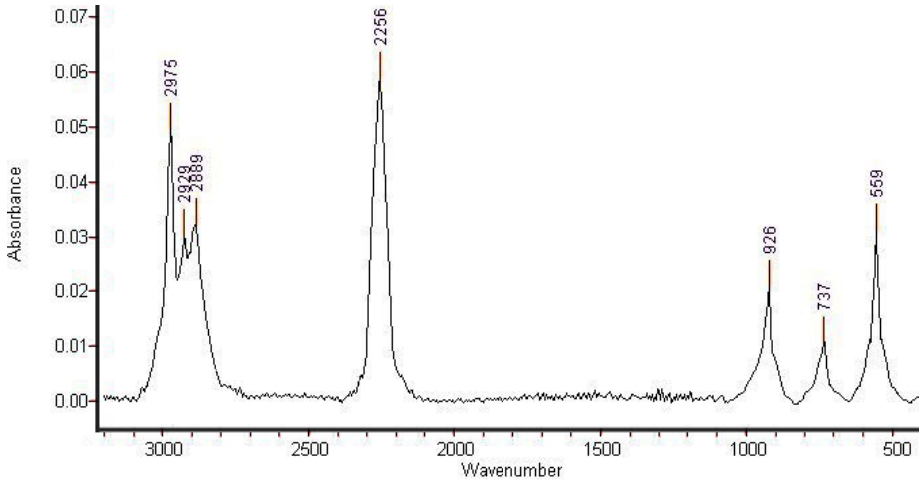


Рисунок 1. ИК спектр образца, содержащего, согласно результатам хромато-масс-спектрального анализа, 31,7% TES.

Учитывая данные экспериментальных результатов, приведенных в [11-16], можно предположить, что ответственными за присутствие TES в исследуемом образце являются спектральные полосы в диапазонах 400–1000 $см^{-1}$ и 2100–2400 $см^{-1}$, а именно, полосы с максимумами ν = 559 $см^{-1}$, ν = 733 $см^{-1}$, ν = 922 $см^{-1}$ и ν = 2255 $см^{-1}$.

ИК спектр образца, содержащего, согласно результатам хромато-масс-спектрального анализа, 54.9% TES, представлен на рис. 2.

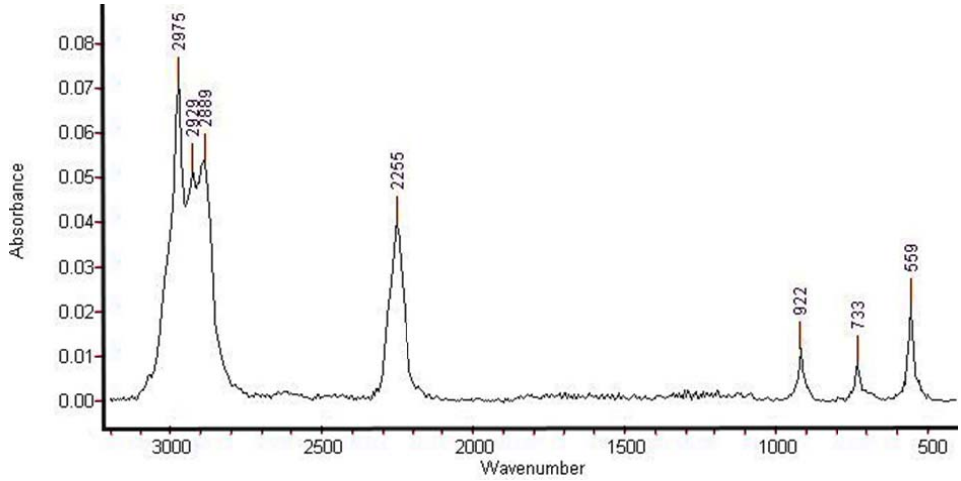


Рисунок 2. ИК спектр образца, содержащего, согласно результатам хромато-масс-спектрального анализа, 54.9% TES.

Расшифровка основных характеристических полос полученного ИК спектра этого образца следующая:

– полосы с максимумами ν = 2975 $см^{-1}$, 2929 $см^{-1}$ и ν = 2889 $см^{-1}$ соответствуют валентным колебаниям C-H групп;

– полоса с максимумом ν = 2256 $см^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям Si-H групп;

– полоса с максимумом ν = 559 $см^{-1}$ соответствует валентным колебаниям Si-H групп;

– полоса с максимумом ν = 737 $см^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям Si-O-Si групп;

– полоса с максимумом ν = 926 $см^{-1}$ соответствует валентным колебаниям Si-OH групп.

Сравнительный анализ ИК спектров, представленных на рис. 1 и рис. 2, подтверждает наше предположение о том, что ответственными за при-

©Академия наук Республики Узбекистан, 2021 г.

сутствие TES в исследуемом образце являются спектральные полосы в диапазонах 400–1000 $см^{-1}$ и 2100–2400 $см^{-1}$.

ИК спектр образца, содержащего, согласно результатам хромато-масс-спектрального анализа, 54.9% TES, демонстрирует соответствующее увеличение интенсивностей спектральных полос в диапазонах 400–1000 $см^{-1}$ и 2100–2400 $см^{-1}$ относительно интенсивностей аналогичных спектральных полос ИК спектра образца, содержащего, согласно результатам хромато-масс-спектрального анализа, 31.7% TES.

При этом частоты максимумов спектральных компонентов ИК спектров, представленных на рис. 1 и рис. 2, демонстрируют практически постоянное положение главных полос для каждого типа спектра, не меняющееся при увеличении концентрации TES. Из этого можно предположить, что изменение концентрации TES в образцах не приводит к существенному изменению типов молекул, а изменяет лишь количественное распределение доли молекул, относящихся к той или иной группе.

Для реализации возможности проведения количественного анализа содержания TES в режиме экспресс-анализа с использованием ИК-спектрометра нами на основании полученных экспериментальных данных построен соответствующий градуировочный график. В процессе обработки экспериментальных результатов, для исключения побочных факторов, интегральная интенсивность полос Si-H (I_{SiH}), Si-O-Si (I_{SiOSi}) и Si-OH (I_{SiOH}) в диапазоне 400–1000 $см^{-1}$ и Si-H (I_{SiH}) полосы в диапазоне 2100–2400 $см^{-1}$ нормировали на суммарную интенсивность полос ($I_{SiH}+I_{SiOSi}+I_{SiOH}+I_{CH}$) в диапазоне 400–3200 $см^{-1}$. Полученная зависимость отношения интегральных интенсивностей $(I_{SiH}+I_{SiOSi}+I_{SiOH})/(I_{SiH}+I_{SiOSi}+I_{SiOH}+I_{CH})$ от концентрации TES в образцах, представленная на рис. 3 в объемных процентах, продемонстрировала высокую точность аппроксимации линейными функциями $(I_{SiH}+I_{SiOSi}+I_{SiOH})/(I_{SiH}+I_{SiOSi}+I_{SiOH}+I_{CH})$ от концентрации TES в образцах. Точность определения концентрации TES с использованием данного метода по соотношению % = $((M_{теор}–M_{практ})/M_{теор})\times100\%$ составила 0.4%.

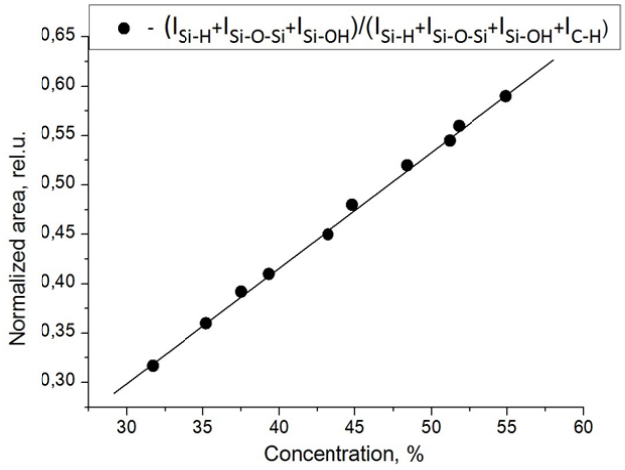


Рисунок 3. Зависимость отношения интегральных интенсивностей

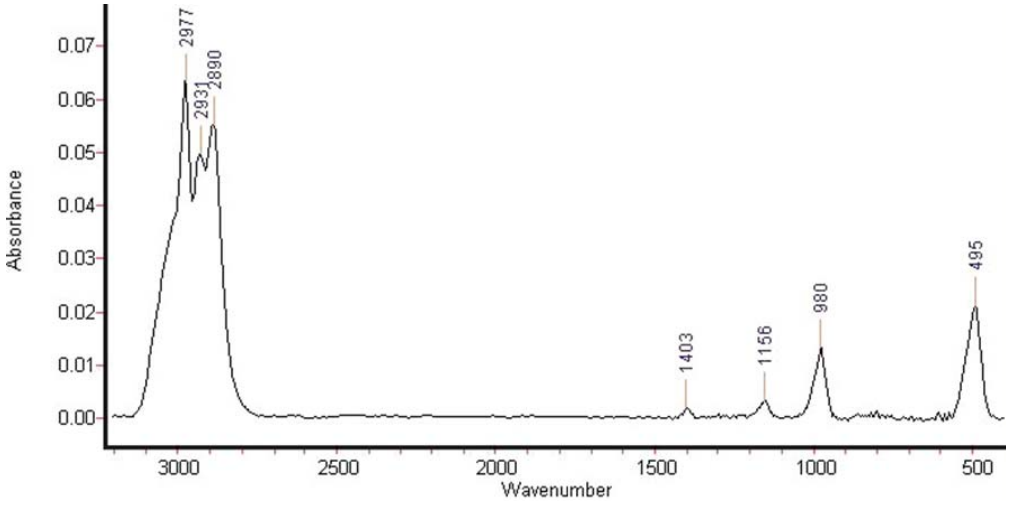


Рисунок 4. ИК спектр образца, содержащего, согласно результатам хромато-масс-спектрального анализа, 8,54% TEOS.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2021 г.

Аналогичные исследования с помощью ИК спектрометра были проведены для 10 образцов, содержащих TEOS (см. таблицу). Для примера на рис. 4 представлен ИК спектр образца, содержащего по результатам хромато-масс-спектрального анализа 8.54% TEOS.

Расшифровка основных характеристических полос полученного ИК спектра образца имеет вид:

– полосы с максимумами ν = 2977 см$^{-1}$, ν = 2931 см$^{-1}$ и ν = 2890 см$^{-1}$ соответствуют валентным колебаниям C-H групп;

– полоса с максимумом ν = 1403 см$^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям C-H групп;

– полоса с максимумом ν = 1156 см$^{-1}$ соответствует комбинации деформационных колебаний C-H групп и валентных колебаний C-O групп;

– полоса с максимумом ν = 980 см$^{-1}$ соответствует комбинации деформационных колебаний Si-H групп и валентных колебаний Si-OH групп;

– полоса с максимумом ν = 495 см$^{-1}$ соответствует валентным колебаниям Si-OH групп.

Учитывая данные экспериментальных результатов, приведенные в [11-16], можно предположить, что ответственными за присутствие TEOS в исследуемом образце являются спектральные полосы в диапазоне 400–1100 см$^{-1}$, а именно, полосы с максимумами ν = 980 см$^{-1}$ и ν = 495 см$^{-1}$.

ИК спектр образца, содержащего по результатам хромато-масс-спектрального анализа, 31.6% TEOS, представлен на рис. 5.

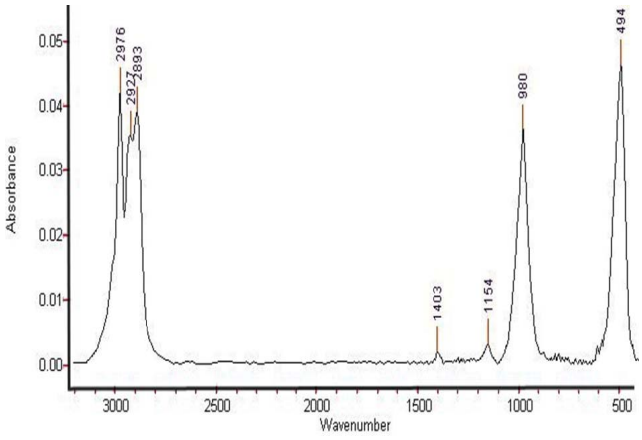


Рисунок 5. ИК спектр образца с 31.6% TEOS (данные хромато-масс-спектрального анализа).

Расшифровка основных характеристических полос ИК спектра этого образца дана ниже:

– полосы с максимумами ν = 2976 см$^{-1}$, ν = 2927 см$^{-1}$ и ν = 2893 см$^{-1}$ соответствуют валентным колебаниям C-H групп;

– пплоса с максимумом ν = 1403 см$^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям C-H групп;

– полоса с максимумом ν = 1154 см$^{-1}$ соответствует комбинации деформационных колебаний C-H групп и валентных колебаний C-O групп;

– полоса с максимумом ν = 980 см$^{-1}$ соответствует комбинации деформационных колебаний Si-H групп и валентных колебаний Si-OH групп;

– полоса с максимумом ν = 494 см$^{-1}$ соответствует валентным колебаниям Si-OH групп.

Сравнительный анализ ИК спектров, представленных на рис. 4 и рис. 5, подтверждает наше предположение о том, что ответственными за присутствие TEOS в исследуемом образце являются спектральные полосы в диапазоне 400–1100 см$^{-1}$.

ИК спектр образца, содержащего по результатам хромато-масс-спектрального анализа 31.6% TEOS, демонстрирует существенное увеличение интенсивностей спектральных полос в диапазоне 400–1100 см$^{-1}$ относительно интенсивностей соответствующих спектральных полос ИК спектра образца, содержащего по результатам хромато-масс-спектрального анализа 8.54% TEOS.

Как и в результате исследования TES, наблюдается практически постоянное положение главных полос для каждого типа спектра, не меняющееся при увеличении концентрации TEOS, что предполагает лишь изменение количественного распределения доли молекул, относящихся к той, или иной группе, при изменении концентрации TEOS в образцах.

Кроме того, как и для случая исследования TES, наряду с качественным анализом, путем сопоставления интегральных интенсивностей спектральных полос, ответственных за присутствие TEOS, может быть проведен количественный анализ TEOS в исследуемом образце.

Для реализации возможности количественного анализа содержания TEOS в режиме экспресс-анализа с использованием ИК спектрометра нами на основании полученных экспериментальных данных построен соответствующий градуировочный график.

В процессе обработки экспериментальных результатов, для исключения побочных факторов, интегральная интенсивность полос Si-H (I_{SiH}) и Si-OH (I_{SiOH}) в диапазоне 400–1000 см$^{-1}$ и Si-H (I_{SiH}) полосы в диапазоне 2100–2400 см$^{-1}$ нормировали

©Академия наук Республики Узбекистан, 2021 г.

на суммарную интенсивность полос (I_{SiH}+I_{SiOH}+I_{CH}+I_{CO}) в диапазоне 400–3200 см$^{-1}$.

Полученная зависимость отношения интегральных интенсивностей (I_{SiH}+I_{SiOH})/(I_{SiH}+I_{SiOH}+I_{CH}+I_{CO}) от концентрации TEOS в образцах, представленная на рис. 6 в объемных процентах, продемонстрировала высокую точность аппроксимации линейными функциями.

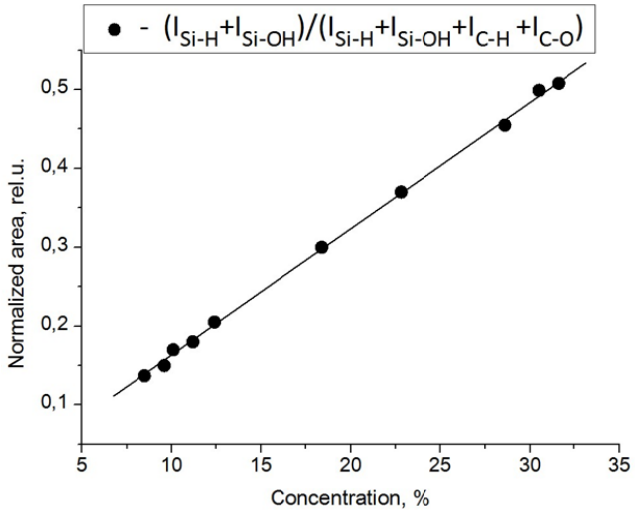


Рисунок 6. Зависимость отношения интегральных интенсивностей

Точность определения концентрации TEOS с использованием данного метода, определяемая как % = (($M_{теор}$-$M_{практ}$)/$M_{теор}$)×100% составила 0.5%.

IV. Заключение

В результате был разработан чувствительный и простой метод проведения количественного экспресс-анализа TES и TEOS с помощью ИК спектрометра без использования стандартных растворов.

Используемый для реализации метода ИК спектрометр обеспечивает высокую чувствительность, низкий предел обнаружения и широкий линейный диапазон проводимых измерений. При этом точность определения концентрации TES и TEOS с использованием данного метода составляет не более (0.4-0.5)%.

Универсальность предлагаемого метода и то, что время проведения такого экспресс-анализа не превышает 10 минут, позволяет успешно использовать данный метод для контроля в реальном времени за промежуточными продуктами самых разных сложных технологических процессов. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность оптимизации параметров технологического процесса, для получения качественного конечного продукта.

Учитывая универсальность метода, а также возможность его использования для получения своевременной информации о необходимости корректировки соответствующих параметров контролируемого технологического процесса, можно сделать вывод, что разработанный метод количественного экспресс-анализа обладает высоким потенциалом практического применения

Метаданные

The use of IR spectroscopy for express analysis of products of the technological process of monosilane synthesis

V.M. Rotshteyn, Kh.B. Ashurov, R.Kh. Ashurov

Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Durmon yuli st. 33, 100125,, Tashkent, Uzbekistan

.

The method of express analysis of triethoxysilane and tetraethoxysilane, which are intermediate products of chemical reactions occurring in the framework of the silane technology for the synthesis of polycrystalline silicon, is described. To form the method, we used the data of preliminary studies of triethoxysilane and tetraethoxysilane, obtained using a MSD 5975C - GC 7890A gas chromatography-mass spectrometer. The immediate implementation of the express analysis of triethoxysilane and tetraethoxysilane was carried out on an Agilent Technologies Cary 640 Series FTIR Spectrometer. At the same time, quantitative express analysis, without the need for the presence of standards, was carried out on the basis of a calibration curve obtained from the corresponding results of gas chromatography-mass spectrometric studies.

Keywords: (chromatography-mass spectrometry, infrared spectroscopy, triethoxysilane, tetraethoxysilane, calibration curve.)

Литература (References)

[1] L.C. Andreani, A. Bozzola, P. Kowalczewski, M. Liscidini, L. Redorici. Silicon solar cells: toward the efficiency limits. Advances in Physics: X **4**(1), 1548305 (2018).

[2] S. De Wolf, A. Descoeudres, Z.C. Holman, C. Ballif. High-efficiency silicon heterojunction solar cells: a review. Green **2**(1), (2012).

[3] K. Yoshikawa, W. Yoshida, T. Irie, H. Kawasaki, K. Konishi, H. Ishibashi, K. Yamamoto. Exceeding conversion ef-

©Академия наук Республики Узбекистан, 2021 г.

ficiency of 26% by heterojunction interdigitated back contact solar cell with thin film Si technology. Solar Energy Materials and Solar Cells **173**, 37-42 (2017).
[4] J. Haschke, O. Dupré, M. Boccard, C. Ballif. Silicon heterojunction solar cells: Recent technological development and practical aspects - from lab to industry. Solar Energy Materials and Solar Cells **187**, 140-153 (2018).
[5] Y. Liu, Y. Li, Y. Wu, G. Yang, L. Mazzarella, P. Procel-Moya, B. Sun. High-efficiency silicon heterojunction solar cells: materials, devices and applications. Materials Science and Engineering: R: Reports **142**, 100579 (2020).
[6] A. Louwen, W. van Sark, R. Schropp, A. Faaij. A cost roadmap for silicon heterojunction solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells **147**, 295–314 (2016).
[7] Kh. Ashurov, V. Rotshteyn, et al. Method for preparing trialkoxysilane. Patent EP 2 754 664 (B1). Pub. Date: 28.12.2016. Bulletin 2016/52.
[8] Kh. Ashurov, V. Rotshteyn, et al. Method for preparing monosilane. Patent JP 6014771 (B2). Pub. Date: 2016.10.25.
[9] Kh. Ashurov, V. Rotshteyn, et al. Method for preparing trialkoxysilane by using trialkoxysilane. Patent US9278864 (B2), Pub. Date: March 8, 2016.
[10] P.A. Volkov, V.V. Fadeev. Method for determination of quantitative content of content of components in mixture. Patent RU 2352920. Pub. Date: 20.04.2009.
[11] E. Prech, F. Byul'mann, K. Affol'ter. Opredelenie stroeniya organicheskikh soedineniy (Moscow, Mir, BINOM laboratoriya znaniy, 2006).
[12] K. Khakamoto. IK spektry i spektry KR neorganicheskikh i koordinatcionnykh soedineniy (Moscow, Mir, 1991).
[13] Dj. Brand, G. Eglinton. Primenenie spektroskopii v organicheskoy khimii. (Applications of spectroscopy to organic chemistry. Per. M.Yu. Kornilov, V.A. Chuyguk. Red. Yu.N. Sheynker (Moscow, Mir, 1967).
[14] C.A.M. Mulder and A.A.J.M. Damen. J. Non-Cryst. Solids **93**, 387-94 (1987).
[15] C.A.M. Mulder. J. Non-Cryst. Solids **95-96**, 303-10 (1987).
[16] M. Pauthe, J. Phalippou, R. Corriu, D. Leclercq, and A. Vioux. J. Non-Cryst. Solids **113**, 21-30 (1989).

Моносилан синтезининг технологик жараёни маҳсулотларини экспресс таҳлил қилиш учун ИҚ спектроскопиясидан фойдаланиш

В.М. Ротштейн, Х.Б. Ашуров, Р.Х. Ашуров

У.А. Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти, Дўрмон йўли кўчаси 33, 100125, Тошкент, Ўзбекистон

Поликристал кремний синтези учун силан технологияси доирасида содир бўладиган кимёвий реакцияларнинг оралиқ маҳсулоти бўлган триетоксисилан ва тетраэтоксисиланни экспресс таҳлил қилиш усули ва техникаси тавсифланган. Усулни шакллантириш учун МСД 5975С-ГС 7890А газ хроматографияси масса спектрометри ёрдамида олинган триетоксисилан ва тетраэтоксисиланнинг дастлабки тадқиқотлари маълумотларидан фойдаланилган. Триетоксисилан ва тетраэтоксисиланнинг экспресс таҳлилини экспресс амалга ошириш Agilent Technologies Cary 640 Series FTIR спектрометрида амалга оширилди. Шу билан бирга, газ хроматографияси-масс-спектрометрик тадқиқотларнинг тегишли натижаларидан фойдаланган ҳолда тузилган калибрлаш графиги асосида стандартлар мавжуд бўлмаган ҳолда миқдорий экспресс таҳлил ўтказилди.

Калит сўзлар: хромато-масс-спектрометрия, инфрақизил спектроскопия, триэтоксисилан, тетраэтоксисилан, градуировкали график.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2021 г.