

**SYNTHESIS AND APPLICATIONS OF SBA-15 MESOPOROUS SILICA BY  
SILATRANE ROUTE VIA SOL-GEL PROCESS**

Busaraporn Samran

A Dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy  
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University  
in Academic Partnership with  
The University of Michigan, The University of Oklahoma,  
and Case Western Reserve University

2010

12837549x

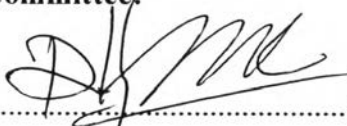
**Thesis Title:** Synthesis and Application of SBA-15 Mesoporous Silica by Silatrane Route via Sol-Gel Process  
**By:** Busaraporn Samran  
**Program:** Polymer Science  
**Thesis Advisors:** Assoc. Prof. Sujitra Wongkasemjit  
Assoc. Prof. Timothy John White

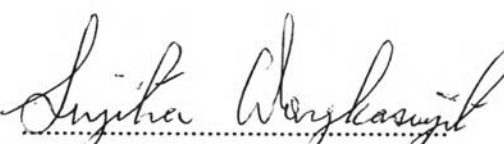
---


Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.


  
..... Dean  
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)


**Thesis Committee:**

  
.....  
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

  
.....  
(Assoc. Prof. Sujitra Wongkasemjit)

  
.....  
(Assoc. Prof. Timothy John White)

  
.....  
(Dr. Thanyalak Chaisuwan)

  
.....  
(Asst. Prof. Bussarin Ksapabutr)

## ABSTRACT

5092004063: Polymer Science Program  
Busaraporn Samran: Synthesis and Application of SBA-15  
Mesoporous Silica by Silatrane Route via Sol-Gel Process  
Thesis Advisors: Assoc. Prof. Sujitra Wongkasemjit and Assoc.  
Prof. Timothy John White: 103 pp.  
Keywords: SBA-15/ Silatrane/ Mesoporous silica/ Titanium glycolate/  
Molybdenum glycolate/ Sol-Gel Process/Styrene epoxidation

In this work, the novel room temperature sol-gel synthesis of well-ordered and stable two dimensional mesoporous silica SBA-15 is described using a silatrane, an inexpensive and conveniently prepared silica, as silica precursor and a non-ionic triblock copolymer ( $\text{EO}_{20}\text{PO}_{70}\text{EO}_{20}$ ) as the structure directing agent. Using a combination of small angle X-ray scattering (SAXS), transmission electron microscopy (TEM) and field emission scanning electron microscopy (FESEM), and nitrogen gas absorption-desorption isotherms, the room temperature product was found to be equivalent to SBA-15 prepared using more elaborative microwave-assisted hydrothermal methods. Both synthesis routes yielded large surface areas (486–613  $\text{m}^2/\text{g}$ ), pore diameters (45–67 Å) and channel volumes (0.6–0.8  $\text{cm}^3/\text{g}$ ). All materials condensed as sinuous bundles of silica tubes, in a morphology that approximates  $p6mm$  symmetry. Functionalized M-SBA-15 (M = Ti, Fe, and Mo) mesoporous silica catalysts are also synthesized through this simple room temperature sol-gel process. Catalyst performance of Ti-SBA-15 was optimized by systematically investigating the influence of acidity, reaction time and temperature, and titanium loading. SAXS, TEM, and FESEM confirmed well-ordered 2D mesoporous hexagonal structures of M-SBA-15 (M= Ti, Fe and Mo). Diffuse reflectance UV-visible spectroscopy (DRUV) showed that  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Mo}^{6+}$  were incorporated into the framework through displacement of  $\text{Si}^{4+}$  to loadings of 7 mol% Ti, 10 mol% Fe and 1 mol% Mo, respectively, without perturbation of the ordered mesoporous structure of the parent SBA-15.  $\text{N}_2$  adsorption/desorption measurements

yielded high surface areas (670–729 m<sup>2</sup>/g), with large pore diameters (5.4–6.8 nm) and volumes (0.83–1.04 cm<sup>3</sup>/g). The catalytic activity of metal loaded SBA-15 (Ti-, Fe- and Mo-SBA-15) towards the epoxidation of styrene monomer with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> employed as the oxidant was investigated as a function of temperature, time, catalyst loading, ratio of styrene/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and amount of catalyst used. The only products of this reaction were styrene oxide, and benzaldehyde. The selectivity of styrene oxide are 34.2%, 34.5% and 39.9%, at a styrene conversion of 25.8%, 10.3% and 7.7% over the 7 mol% Ti, 10 mol% Fe, and 1 mol% Mo loaded in SBA-15 catalyst, respectively. The catalytic performance of the sol-gel catalysts is shown to be superior to conventional materials produced by incipient wetness impregnation method under identical reaction conditions.

## บทคัดย่อ

บุคลากร สำราญ: การสังเคราะห์และการประยุกต์สารซิลิกา SBA-15 โดยใช้กระบวนการโซล-เจลของสารไซลาเทรน (Synthesis and Application of SBA-15 Mesoporous Silica by Silatrane Route via Sol-Gel Process) อ. ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. สุจิตรา วงศ์เกษมจิตต์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ทิโมที จอห์น ไวท์ 103 หน้า

งานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงการสังเคราะห์สารซิลิกา SBA-15 แบบสองมิติที่มีการจัดเรียงตัวที่ดีและมีความเสถียร โดยผ่านกระบวนการโซล-เจลแบบใหม่ที่สามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ไซลาเทรนซึ่งเป็นสารที่มีราคาถูกและสามารถเตรียมได้ง่าย เป็นซิลิกาตั้งต้น และ ใช้โตรบลิคโคพอลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุเป็นตัวนำโครงสร้าง จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ เอ็กซ์เรย์สแกตเตอร์รังสีชนิดสมอลแองเกิล (SAXS), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านและส่องกราด (TEM/FESEM) และ เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว พบว่า สารรองรับ SBA-15 ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้วิธีที่นำเสนอจากงานวิจัยนี้มีสมบัติเทียบเท่ากับ SBA-15 ที่เตรียมโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟซึ่งมีความซับซ้อนกว่า การสังเคราะห์ทั้งสองวิธีให้ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ผิวสูง (486–613 ตารางเมตรต่อกรัม), ขนาดรูพรุนใหญ่ (45–67 อังสตรอม) และปริมาตรรูพรุนสูง (0.6–0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม) สารที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมีการจัดเรียงโครงสร้างแบบหกเหลี่ยมที่เป็นระเบียบในสองมิติสอดคล้องกับสมมาตร  $p6mm$  ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะแทรกอยู่ใน SBA-15 ได้แก่ ไทเทเนียม SBA-15 เหล็ก SBA-15 และ โมลิบดีนัม SBA-15 สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยโดยกระบวนการโซล-เจล ที่อุณหภูมิห้องเช่นกัน ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ไทเทเนียม SBA-15 ได้ถูกศึกษาอย่างเป็นระบบ ได้แก่ อิทธิพลของความเป็นกรด เวลาและอุณหภูมิในการสังเคราะห์ และปริมาณของไทเทเนียม ผลวิเคราะห์จาก SAXS และ TEM/FESEM ยืนยันว่า ไทเทเนียม SBA-15 เหล็ก-SBA-15 และ โมลิบดีนัม SBA-15 ที่สังเคราะห์ได้มีการจัดเรียงโครงสร้างแบบหกเหลี่ยมที่เป็นระเบียบในสองมิติสอดคล้องกับสมมาตร  $p6mm$  เช่นกัน การวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของแข็งโดยรังสีเอ็กซ์แสดงให้เห็นว่า ไทเทเนียม เหล็ก และ โมลิบดีนัม ได้เข้าไปอยู่ในโครงสร้างของ SBA-15 ในปริมาณ 7, 10 และ 1 โมลเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไม่ทำลายโครงสร้างของตัวรองรับ SBA-15 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้มีพื้นที่ผิวสูง (670–729 ตารางเมตรต่อกรัม), ขนาดรูพรุนใหญ่ (5.4–6.8 อังสตรอม), และ ปริมาตรรูพรุนสูง (0.83–1.04 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม) นอกจากนี้ ได้ทำการศึกษาผลของ อุณหภูมิ, เวลา, ปริมาณโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยา, อัตราส่วนของสไตรีนต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้

ของตัวเร่งปฏิกิริยา ไทเทเนียม SBA-15 เหล็ก-SBA-15 และ โมลิบดีนัม SBA-15 ที่มีต่อปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของสไตรีน ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานี้ มีเพียงสไตรีนออกไซด์ และ เบนซาลดีไฮด์เท่านั้น ความสามารถในการเลือกจำเพาะของ สไตรีนออกไซด์ เป็น 34.2%, 34.5% และ 39.9%, ที่ความสามารถในการเปลี่ยนสไตรีน เป็น 25.8%, 10.3% และ 7.7% สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีไทเทเนียม เหล็ก และโมลิบดีนัมปริมาณ 7, 10 และ 1 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ใส่เข้าไปในโครงสร้างของ SBA-15 ตามลำดับ ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซล-เจลแสดงผลที่ดีกว่าที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการกระจายตัวบนพื้นผิวภายใต้สภาวะเดียวกัน

## ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my sincere thank to Assoc. Prof. Sujitra Wongkasemjit, who gave me an opportunity to study Ph.D. program, for her kind advices, understanding, valuable suggestions, motivation, positive criticism, and proof-reading all of my works. I would have not been here if I did not have her, thank you for trusting, understanding and helping me when I was in a difficult time. For more than 10 years, since I was her advisee for my master degree, I really appreciate it and I will not forget through all of my life. Another important person that I really would like to deeply thank is Assoc. Prof. Timothy J. White, who always gives me useful advices, suggestions, quick response, proof-reading my research works, helps on structural and microscopy testing, and opportunity to conduct my research at Nanyang Tachnological University for one month. I also would like to give my best regard to Prof. Anthony K. Cheetham, University of Cambridge, for his invaluable advice, encouragement, and giving me an opportunity to do research work in his laboratories. I would like to give special thanks to Asst. Prof. Pomthong Malakul, Dr. Thanyalak Chaisuwan, and Asst. Prof. Bussarin Ksapabutr for kindly being her dissertation committees, making valuable comments, and suggestions.

I am grateful for the scholarship and funding of the thesis work provided by the Petroleum and Petrochemical College, and by the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materails, Thailand, Nanyang Technology University, and University of Cambridge, for all financial supports.

I would like to thank Mr. An Tao and Ms. Li Henan at the School of Materials Science and Engineering, Nanyang Technological University for SAXS measurement, Dr. Frank Brink of the Australian National University for the secondary electron images testing.

I would like to thank all of my friends including PPC's friends, NTU's friends, Cambridge's friends, and Unilever's friends who continuously support and encourage me with no complaint when I was in tough situations.

Most of all, I would like to express my thankfulness to my family for their understanding, encouragement, support, limitless sacrifice, and advice, as always.

## TABLE OF CONTENTS

	<b>PAGE</b>
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	v
Acknowledgements	vii
Table of Contents	viii
List of Tables	xi
List of Figures	xiii
Abbreviations	xvii
 <b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>II LITERATURE REVIEW</b>	<b>3</b>
<b>III EXPERIMENTAL</b>	<b>11</b>
<b>VI A NOVEL ROOM TEMPERATURE SYNTHESIS OF MESOPOROUS SBA-15 FROM SILATRANE</b>	<b>16</b>
4.1 Abstract	16
4.2 Introduction	16
4.3 Experimental Section	19
4.4 Results and Discussion	21
4.5 Conclusions	25
4.6 Acknowledgements	25
4.7 References	25



<b>CHAPTER</b>		<b>PAGE</b>
<b>V</b>	<b>ROOM TEMPERATURE SYNTHESIS OF Ti-SBA-15 FROM SILATRANE AND TITANIUM-GLYCOLATE AND ITS CATALYTIC PERFORMANCE TOWARDS STYRENE EPOXIDATION</b>	<b>40</b>
	5.1 Abstract	40
	5.2 Introduction	41
	5.3 Experimental Section	42
	5.4 Results and Discussion	44
	5.5 Conclusions	48
	5.6 Acknowledgements	48
	5.7 References	49
<b>VI</b>	<b>A SIMPLE ROOM TEMPERATURE SYNTHESIS OF Fe-SBA-15 FROM SILATRANE AND FeCl<sub>3</sub> VIA SOL-GEL PROCESS AND ITS CATALYTIC PROPERTIES IN EPOXIDATION OF STYRENE WITH H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>59</b>
	6.1 Abstract	59
	6.2 Introduction	59
	6.3 Experimental Section	61
	6.4 Results and Discussion	63
	6.5 Conclusions	66
	6.6 Acknowledgements	67
	6.7 References	67

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
<b>VII ROOM TEMPERATURE SYNTHESIS OF Mo-SBA-15 VIA SOL-GEL PROCESS AND ITS CATALYTIC ACTIVITY IN STYRENE OXIDATION</b>	<b>77</b>
7.1 Abstract	77
7.2 Introduction	77
7.3 Experimental Section	79
7.4 Results and Discussion	80
7.5 Conclusions	84
7.6 Acknowledgements	84
7.7 References	85
<b>VIII CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>	<b>93</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>95</b>
<b>CURRICULUM VITAE</b>	<b>103</b>

**LIST OF TABLES**

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER IV</b>		
4.1	Properties of SBA-15 as a function of synthesis route	29
<b>CHAPTER V</b>		
5.1	BET and SAXS analyses of Ti-SBA-15 as a function of amount of Ti loading	29
5.2	BET and SAXS analyses of Ti-SBA-15 as a function of acidity	52
5.3	BET and SAXS analyses of Ti-SBA-15 as a function of temperature	52
5.4	BET and SAXS analyses of Ti-SBA-15 as a function of aging time	53
5.5	Comparison of catalysts for epoxidation of styrene	53
<b>CHAPTER VI</b>		
6.1	Physical and crystallographic properties of Fe-SBA-15 samples as a function of Fe loading	69
6.2	Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Fe-SBA-15 as a function of Fe loading	69
6.3	Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Fe-SBA-15 as a function of mole ratio of styrene:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	70
6.4	Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Fe-SBA-15 as a function of catalyst used	70

<b>TABLE</b>	<b>PAGE</b>
6.5 Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Fe-SBA-15 as a function of reaction temperature	70
6.6 Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Fe-SBA-15 as a function of reaction time	70

### **CHAPTER VII**

7.1 Physical and crystallographic properties of Mo-SBA-15 samples as a function of Mo loading	87
7.2 Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Mo-SBA-15 as a function of Mo loading	87
7.3 Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Mo-SBA-15 as a function of reaction time	88
7.4 Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Mo-SBA-15 as a function of reaction temperature	88
7.5 Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Mo-SBA-15 as a function of ratio of styrene:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	88
7.6 Epoxidation of styrene monomer with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> over Mo-SBA-15 as a function of catalyst used	88

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
<b>CHAPTER IV</b>	
4.1 Simplified room temperature synthesis of SBS-15 (Route 1) compared to conventional microwave-assisted hydrothermal method (Route 2)	30
4.2 The SAXS pattern of the as-synthesized SBA-15 (A), after calcinations at 550 °C (B) and after calcination at 850 °C (C). These materials show two strong scattering maxima that are indexed in accord with $p6mm$ (hexagonal) symmetry	31
4.3 TG-DTA peak analyzed in air of SBA-15 after calcinations at 550 °C for 6 hours.	32
4.4 (a) Idealized morphology of the two-dimensional arrangement of silica tubes in SBA-15 and conforming to $p6mm$ symmetry. In reality, the tubes are sinuous and extend over a range of diameters which destroys long range hexagonal symmetry. (b) Projection along the mesoporous tubes emphasizing the equivalence of $\{10\} \equiv \{11\}$ planes and d-spacings that define the underlying crystallographic repeat, while $\{30\} \equiv \{33\}$ correspond to a first approximation to the observed channel diameters.	33
4.5 (a) The SAXS pattern the SBA-15 materials show two strong scattering maxima that are indexed in accord with $p6mm$ symmetry. (b) The $\{10\} \equiv \{11\}$ reflections are anisotropic and show that the upper limit of the crystallographic repeat in the 2D mesopore order is quite sharp ( $\sim 190\text{\AA}$ ) but with a long tail of shorter periodicity down to $\sim 167\text{\AA}$ .	34

FIGURE	PAGE
<p>4.6 FESEM (left-hand side) and TEM (right-hand side) images of SBA-15 prepared hydrothermally at 120°C/1 hr with microwave assistance. (a) &amp; (b) At lower magnifications the twisted bundles of silica tubes are seen to co-exist with less crystalline and aperiodic material. (c) (d) When viewed along the pseudo-hexagonal projection it evident that channels not uniform in shape or content. (e) &amp; (f) In &lt;10&gt; FESEM clearly shows cavitation along the channels. The regular periodicity the 2D mesopore order is evident.</p>	35
<p>4.7 (a) A well-ordered fragment of SBS-15 project in pseudo-<math>p6mm</math> projection (b) The frequency image obtained by fast Fourier transformation (FFT) of the region within the circle yields shows angles that departure from <math>60^\circ</math> demonstrating that this material fragment better corresponds to <math>p2</math> oblique symmetry. By imposing <math>p6mm</math> symmetry and calculating the back Fourier transform the inserted processed image in (a) is generated that yields an average pore diameter of 46 Å.</p>	36
<p>4.8 Nitrogen adsorption-desorption isotherms and corresponding pore size distributions for SBA-15 prepared with a microwave-assisted hydrothermal route at (a)120°C /1 hr, (b) 100°C /2 hr, and (c) directly at RT by stirring. The pore size range is slightly narrower for the latter (FWHM ~ 18 Å) as compared to the former (FWHM ~ 25 Å).</p>	37
<p>4.9 Approximate &lt;10&gt; FESEM (a) and TEM (b) images micrographs of SBA-15 prepared hydrothermally with microwave-assisted method at 100°C/2 hr.</p>	38
<p>4.10 Approximate &lt;10&gt; FESEM (a) and hexagonal TEM (b) images of SBA-15 prepared at RT without hydrothermal treatment.</p>	39

FIGURE	PAGE
<b>CHAPTER V</b>	
5.1 SAXS patterns of (A) pure silica SBA-15 and Ti-incorporated samples of Ti-SBA-15 containing different amount of Ti loadings; (B) Ti-SBA-15 materials prepared at different acid concentrations; (C) Ti-SBA-15 synthesized at different temperatures; (D) Ti-SBA-15 synthesized at different aging times	54
5.2 TEM images of 7 mol% Ti-SBA-15, in which a) in the direction perpendicular to the pore axis and b) in the direction parallel to the pore axis.	55
5.3 N <sub>2</sub> adsorption/desorption isotherms (A) and pore size distributions (B) of Ti-SBA-15 containing different amount of Ti loadings.	56
5.4 Diffuse reflectance UV-visible spectra of the synthesized Ti-SBA-15: (A) at different amounts of Ti loadings; (B) at various acid concentrations; (C) at different temperatures; and (D) at different aging times.	57
5.5 (A) Effect of reaction time on the styrene oxidation using 0.1 g of catalyst, containing 7.0 mol% titanium content, at 80 °C; (B) Effect of reaction temperature on the styrene oxidation using 0.1 g of catalyst, containing 7 mol% titanium content, for 4 h; (D) Effect of amount of catalyst, containing 7.0 mol% titanium content, at 80 °C for 4 h.	58

<b>FIGURE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER VI</b>		
6.1	SAXS patterns of pure silica SBA-15 and Fe-SBA-15 containing different amount of Fe loadings	71
6.2	FESEM images of Fe-SBA-15 containing 10 mol% Fe when (A) viewed along the pseudo-hexagonal projection and (B) in the direction parallel to the pore axis	72
6.3	TEM images of Fe-SBA-15 containing 10 mol% Fe (A) in the direction perpendicular to the pore axis and (B) in the direction parallel to the pore axis	73
6.4	N <sub>2</sub> adsorption/desorption isotherms (A) and pore size distributions (B) of Fe-SBA-15	74
6.5	Diffuse reflectance UV-visible spectra of the synthesized Fe-SBA-1	75
<b>CHAPTER VII</b>		
7.1	SAXS patterns of pure silica SBA-15 and Mo-SBA-15 containing different Mo loadings	89
7.2	TEM images of Mo-SBA-15 containing 1.0 mol% Mo (A) in the direction perpendicular to the pore axis and (B) in the direction parallel to the pore axis	90
7.3	Diffuse reflectance UV-visible spectra of Mo-SBA-15	91
7.4	N <sub>2</sub> adsorption/desorption isotherms (A) and pore size distributions (B) of Mo-SBA-1	92



**ABBREVIATIONS**

OOPS	Oxide One Pot Synthesis
TEOS	Tetraethoxysilane
TEA	Triethanolamine
EG	Ethylene Glycol
TETA	Triethylenetetramine
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
TGA	Thermogravimetric Analysis
SAXS	Small Angle X-ray Scattering
FESEM	Field Emission Scanning Electron Microscope
TEM	Transmission Electron Microscope
BET	Brunaues-Emmett-Teller
DRUV	Diffuse Reflectance Ultraviolet Spectroscopy
P123	poly(ethylene glycol)-block-poly(propylene glycol)-block-poly(ethylene glycol) (EO <sub>20</sub> PO <sub>70</sub> EO <sub>20</sub> )
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hydrogen Peroxide
HCl	Hydrochloric
GC	Gas Chromatograph
FeCl <sub>3</sub>	Ferric Chloride
RT	Room Temperature