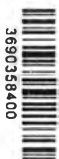


การพัฒนาวิธีตรวจวัดอาร์เซนิกและปรอทด้วยซีเควินเซียลอินเจกชัน-แอนโอดิกสทริปปิง
โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าฟิล์มทอง



นายเอกสิทธิ์ ปันรัตน์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5172566223

METHOD DEVELOPMENT FOR DETERMINATION OF ARSENIC AND MERCURY
BY SEQUENTIAL INJECTION-ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY
USING GOLD FILM ELECTRODE

Mr. Eakkasit Punrat



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Chemistry

Department of Chemistry

Faculty of Science


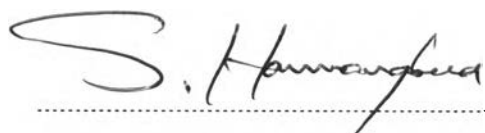
Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

Thesis Title	METHOD DEVELOPMENT FOR DETERMINATION OF ARSENIC AND MERCURY BY SEQUENTIAL INJECTION-ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY USING GOLD FILM ELECTRODE
By	Mr. Eakkasit Punrat
Field of Study	Chemistry
Thesis Advisor	Professor Orawon Chailapakul, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Suchada Chuanuwatanakul, Ph.D.

Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctoral Degree

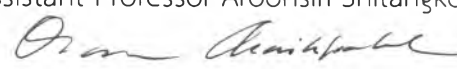
.....Dean of the Faculty of Science

(Professor Supot Hannongbua, Dr.rer.nat.)


THESIS COMMITTEE



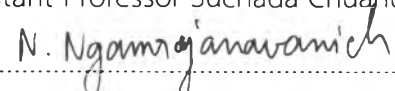
.....Chairman
(Assistant Professor Aroonsiri Shitangkoon, Ph.D.)




.....Thesis Advisor
(Professor Orawon Chailapakul, Ph.D.)



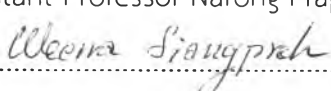
.....Thesis Co-Advisor
(Assistant Professor Suchada Chuanuwatanakul, Ph.D.)



.....Examiner
(Associate Professor Nattaya Ngamrojanavanich, Ph.D.)



.....Examiner
(Assistant Professor Narong Praphairaksit, Ph.D.)



.....External Examiner
(Assistant Professor Weena Siangproh, Ph.D.)

เอกสิทธิ์ ปันรัตน์ : การพัฒนาวิธีตรวจวัดอาร์เซนิกและปรอทด้วยซีเควินซีลอินเจ็กชัน-แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าฟิล์มทอง. (METHOD DEVELOPMENT FOR DETERMINATION OF ARSENIC AND MERCURY BY SEQUENTIAL INJECTION-ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY USING GOLD FILM ELECTRODE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.อรุวรรณ ชัยลภากุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.สุชาติ จูอนุวัฒน์กุล, 108 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณอาร์เซนิกและปรอทด้วยเทคนิคซีเควินซีลอินเจ็กชันร่วมกับแอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรินดัดแปรด้วยทอง ระบบซีเควินซีลอินเจ็กชันเป็นระบบฐานการไหลอัตโนมัติที่มีความอ่อนกประสงค์มาก พร้อมทั้งมีความเที่ยงและความทนทานสูง ระบบนี้ยังประสบความสำเร็จในการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดหลายชนิด การตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรี เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากเทคนิคหนึ่งสำหรับใช้ตรวจวัดโลหะเนื่องจากมีความไวและความจำเพาะสูง ดังนั้น จึงได้พัฒนาการนำระบบซีเควินซีลอินเจ็กชันมาใช้ร่วมกับเทคนิคแอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะที่เป็นพิษสูง เช่น อาร์เซนิกและปรอท โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรินดัดแปรด้วยทอง ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรินซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นขั้วไฟฟ้าราคาไม่แพงสามารถสร้างขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สกริน แล้วดัดแปรผิวหน้าขั้วไฟฟ้าด้วยทองโดยการตกตะกอนด้วยวิธีเคมีไฟฟ้าจากสารละลายของทอง(III) โดยใช้วิธีการที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านระบบซีเควินซีลอินเจ็กชัน จากนั้น ได้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์อาร์เซนิกและปรอทโดยเทคนิคซีเควินซีลอินเจ็กชัน-แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรินดัดแปรด้วยทอง อีกทั้งยังได้ศึกษาวิธีการเพิ่มเติมเพื่อให้ขั้วไฟฟ้าง่ายกว่าใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การทำให้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกริน ดัดแปรด้วยทองซ้ำได้ และการเก็บรักษาทองที่ดัดแปรลงบนขั้วไฟฟ้าให้มีสมบัติคงทน เป็นต้น ทั้งนี้ ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม สามารถวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของอาร์เซนิก(III) และอาร์เซนิก(V) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรินดัดแปรด้วยทองที่มีสมบัติคงทนได้โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดเป็น 0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับอาร์เซนิก(III) และ 2.3 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับอาร์เซนิก(V) และยังสามารถวิเคราะห์ปริมาณปรอท(II) ได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรินแบบที่ดัดแปรด้วยทองซ้ำได้โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดปรอทอยู่ที่ 0.22 ไมโครกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ยังประสบความสำเร็จในการใช้วิเคราะห์ปริมาณอาร์เซนิก(III) อาร์เซนิก(V) และปรอท(II) ในตัวอย่างจริงโดยมีความแม่นยำสูงอีกด้วย

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมี

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต เอกสิทธิ์ ปันรัตน์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อรุณ ชัยลภากุล

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สุชาติ จูอนุวัฒน์กุล

5172566223 : MAJOR CHEMISTRY

KEYWORDS: SEQUENTIAL INJECTION / ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY / GOLD-MODIFIED ELECTRODE / SCREEN-PRINTED CARBON ELECTRODE / MERCURY / ARSENIC

EAKKASIT PUNRAT: METHOD DEVELOPMENT FOR DETERMINATION OF ARSENIC AND MERCURY BY SEQUENTIAL INJECTION-ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY USING GOLD FILM ELECTRODE. ADVISOR: PROF. ORAWON CHAILAPAKUL, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. SUCHADA CHUANUWATANAKUL, Ph.D., 108 pp.

This dissertation reported on the method development for the determinations of arsenic (As) and mercury (Hg) by sequential injection (SI) coupled with anodic stripping voltammetry (ASV) using gold-modified screen-printed carbon electrodes (Au-SPCEs). An SI system is a very versatile automated flow-based system with very good precision and robustness. It has been developed to be compatible with numerous detection devices. An electrochemical detection called ASV is one of powerful techniques for metal detection due to its high sensitivity and selectivity, therefore, the combination of SI and ASV has been developed for the determination of highly toxic metals such as As and Hg using Au-SPCE. SPCE, which is well-known as an inexpensive electrode, can be prepared in our laboratory by screen-printing technology, and the modification of Au on the electrode surface was performed by electrochemical deposition from Au(III) solution under a computer-controlled procedure via SI system. The conditions for the determinations of As and Hg by SI-ASV using the Au-SPCE have been optimized. Besides, the additional methods for efficient uses of the Au-SPCEs were attentively investigated such as a renewal of Au-SPCE and a preservation of the modified Au on SPCE with a long-lasting property. Under the optimal conditions, the speciation of As(III) and As(V) has been achieved by SI-ASV using the long-lasting Au-SPCE with the detection limits of 0.03 µg/L for As(III) and 2.3 µg/L for As(V), whereas Hg(II) can be determined by renewable Au-SPCE with the detection limit of 0.22 µg/L. Furthermore, this developed method has successfully determined As(III), As(V) and Hg(II) in real samples with high accuracy.

Department: Chemistry

Field of Study: Chemistry

Academic Year: 2013

Student's Signature *Eakkasit Punrat*

Advisor's Signature *Orawon Chailapakul*

Co-Advisor's Signature *Suchada Chuanuwatanakul*

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, I owe my deepest gratitude to my advisor, Prof. Dr. Orawon Chailapakul, and my co-advisor, Asst. Prof. Dr. Suchada Chuanuwatanakul, who always encourage, guidance, support and give the great opportunity throughout my dissertation. They have consistently provided valuable guidance and supported moral principles, knowledge and experiences, since I was a senior student. They also conveyed a spirit of adventure in regard to research and scholarship. In addition, I would like to thank my committee members, Asst. Prof. Dr. Aroonsiri Shitangkoon, Assoc. Prof. Dr. Nattaya Ngamrojanavanich, Asst. Prof. Dr. Narong Praphairaksit and Asst. Prof. Dr. Weena Siangproh, who give helpful comments and advices in this dissertation.

Special thanks are also extended to my oversea co-advisors, Prof. Dr. Shoji Motomizu and Prof. Dr. Takashi Kaneta from Okayama University (Japan), and Prof. Dr. Toshio Takayanagi from Tokushima University (Japan), for their support, advice, suggestions, and belief in my spirit over the year of conducting research.

I would like to gratefully acknowledge the financial support from the Thailand Research Fund and Chulalongkorn University through the Royal Golden Jubilee Ph.D. Program (Grant No. PHD/0320/2551), the 90th Anniversary of Chulalongkorn University Fund (Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund), and Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials. I also would like to show my gratitude to the members of Electrochemistry and Optical Spectroscopy Research Unit, Department of Chemistry, Chulalongkorn University and the members of Analytical Chemistry Group at Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, for being my great friends and providing their help throughout my research.

Finally, I am affectionately thankful to my family for their sincere unlimited support, understanding, belief, and respect throughout my education.



CONTENTS

	Page
THAI ABSTRACT	iv
ENGLISH ABSTRACT	v
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
CONTENTS	vii
LIST OF TABLES	xi
LIST OF FIGURES	xii
LIST OF ABBREVIATIONS	xvi
CHAPTER I INTRODUCTION.....	1
1.1 Introduction	1
1.2 Research Objective.....	3
1.3 Scope of Research.....	4
1.4 Research Utilization.....	5
CHAPTER II THEORY	6
2.1 Flow Analysis	6
2.1.1 Flow Injection Analysis	6
2.1.2 Sequential Injection Analysis.....	7
2.1.3 Lab-on-Valve.....	8
2.2 Electrochemical Technique.....	9
2.3 Electroanalytical Chemistry	10
2.3.1 Voltammetry.....	11
2.3.2 Cyclic Voltammetry.....	13
2.3.3 Square Wave Voltammetry.....	15
2.3.4 Stripping Voltammetry.....	17
CHAPTER III DETERMINATION OF ARSENIC(III) BY SEQUENTIAL INJECTION/ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY (SI/ASV) USING IN-SITU THIN FILM-MODIFIED SCREEN-PRINTED CARBON ELECTRODE (SPCE).....	19
Abstract.....	20



	Page
3.1 Introduction	21
3.2 Experimental.....	22
3.2.1 Reagents	22
3.2.2 Instruments	22
3.2.3 Step Sequence	24
3.3 Results and Discussion	26
3.3.1 Bi(III)- and Au(III)-modified SPCEs for the Determination of Cd(II), Pb(II) and As(III).....	26
3.3.2 Cleaning Condition for Complete Removal of the Remaining Species	26
3.3.3 Comparison of SPCEs Made by Different Techniques.....	27
3.3.4 Electrochemical Behavior in Cyclic Voltammetry (CV)	28
3.3.5 Electrochemical ASV Techniques for Determination of As(III).....	30
3.3.6 Optimization of Parameters for the Determination of As(III) Using The Method with <i>In-situ</i> Gold Plating SPCE	31
3.3.6.1 Potential Scan Rate.....	31
3.3.6.2 Concentration of Supporting Electrolyte.....	31
3.3.6.3 Deposition Potential	32
3.3.6.4 Effect of Concentration of Gold Plating Solution	32
3.3.7 Optimal Conditions for As(III) Determination Using SI/ASV Method.....	33
3.3.8 Analytical Performances of Method for the Determination of As(III).....	35
3.4 Conclusions.....	36
Acknowledgements.....	37
CHAPTER IV METHOD DEVELOPMENT FOR THE DETERMINATION OF ARSENIC BY SEQUENTIAL INJECTION/ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY USING LONG-LASTING GOLD-MODIFIED SCREEN-PRINTED CARBON ELECTRODE	38
Abstract.....	39
4.1 Introduction	40
4.2 Experimental.....	42



	Page
4.2.1 Reagents	42
4.2.2 Screen-printed Carbon Electrode (SPCE)	43
4.2.3 Apparatus	43
4.2.4 Procedure	44
4.3 Results and Discussion	48
4.3.1 The Effect of the Amount of Au on the Modified SPCE.....	48
4.3.2 Stability of the Au-modified SPCE	49
4.3.3 Microscopic Images.....	52
4.3.4 The Effect of the Flow Parameters.....	53
4.3.5 Analytical Characteristics.....	54
4.3.6 Interference Study.....	55
4.3.7 The Removal of Cu(II) Using AnaLig® TE-3.....	56
4.3.8 Application for the Determination of As(III) in Real Water Samples	58
4.3.9 Speciation Between As(III) and As(V).....	60
4.4 Conclusions.....	63
Acknowledgements.....	63
CHAPTER V METHOD DEVELOPMENT FOR THE DETERMINATION OF MERCURY(II) BY SEQUENTIAL INJECTION/ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY USING AN IN-SITU GOLD- FILM SCREEN-PRINTED CARBON ELECTRODE.....	
	65
Abstract.....	66
5.1 Introduction	67
5.2 Experimental.....	68
5.2.1 Chemicals and Reagents	68
5.2.2 Apparatus	69
5.2.3 Preparation of the SPCE	69
5.2.4 Step Sequence	69
5.3 Results and Discussion	72
5.3.1 Effect of the Supporting Electrolyte Solution	72



3690358400

	Page
5.3.2 Chloride effect and on-line medium exchange	74
5.3.3 Electrode Cleaning Step.....	75
5.3.4 Two-step Deposition Potential and Flow Pattern of the Sequentially Injected Solutions.....	76
5.3.5 Analytical Characteristics.....	79
5.3.6 Interference Study.....	80
5.3.7 Determination of Hg ²⁺ in Real Samples	81
5.4 Conclusions.....	82
Acknowledgements.....	83
CHAPTER VI CONCLUSIONS AND FUTURE PERSPECTIVE	84
6.1 Conclusions.....	84
6.2 Future Perspective	86
REFERENCES	87
APPENDIX.....	104
VITA.....	108



LIST OF TABLES

Table	Page
3.1 Step sequence for the determination of As(III) using <i>in-situ</i> gold-plating SPCE..	25
3.2 Optimal conditions for As(III) measurement using SI/ASV method.	34
4.1 Step sequence for Au modification of the SPCE by electrolysis using SI system.	45
4.2 Step sequence for determination of As(III) using SI/ASV.	46
4.3 Optimized experimental conditions for determination of As(III) using SI/ASV. ...	48
4.4 Procedures and results of the changes in the flow parameters with a fixed sample volume of 1.0 mL using the SI system and linear sweep anodic stripping voltammetry for the determination of As(III).....	53
4.5 Determination of the As(III) concentration in real water samples using SI/ASV with an Au-modified SPCE.....	59
4.6 Determination of the As(III) and As(V) concentrations in mixed standard solutions using SI/ASV with an Au-modified SPCE.	62
5.1 Step sequence for the <i>in-situ</i> Au film preparation and the determination of Hg(II) by SI/SWASV.....	70
5.2 Summary of optimized experimental conditions for the determination of Hg(II) by SI/SWASV using <i>in-situ</i> Au film SPCE.	77
5.3 Determination of Hg(II) concentration in real samples by SI/SWASV using <i>in-situ</i> Au film SPCE.....	82
6.1 Comparison of the conditions used in each Chapter for the determinations of the metal ions by SI-ASV using Au-SPCE.	85



LIST OF FIGURES

Figure	Page
2.1 Typical manifold of flow injection analysis.....	6
2.2 Transient signal of FIA output.	7
2.3 Typical manifold of sequential injection analysis.....	8
2.4 Typical manifold of Lab-on-valve.	9
2.5 Time-dependent potential waveforms used in various voltammetry.....	12
2.6 Typical cyclic voltammogram of a reversible redox couple.	14
2.7 Waveform and measurement scheme for a square wave voltammetry.....	16
2.8 Theoretical forward current (i_f), reverse current (i_r) and net current (i_{net}) of a square wave voltammogram for a reversible process.....	16
2.9 Summary diagram of anodic stripping voltammetry for determination of metals: the potential-time waveform (top), along with the typical square wave voltammogram (bottom).....	17
3.1 Schematic diagram of sequential injection (SI) system with anodic stripping voltammetry for in-situ gold-film preparation and determination of As(III).	23
3.2 A SPCE with silver electrical contact (left) and a SPCE with gold electrical contact (right) were in-house prepared.....	28
3.3 Cyclic voltammograms on SPCE in different solutions using 1 M HCl as supporting electrolyte. CV's potential range is -1.5 to +1.5 V vs Ag/AgCl, potential step is 10 mV and scan rate is 0.1 V s^{-1}	29
3.4 Bar-graph of the determination of As(III) at the concentration of 3 mg L^{-1} in 1 M HCl by LS-ASV without cleaning and re-preparation of gold-film (a) and using <i>in-situ</i> gold-film (b) plotted between number of analysis time and anodic stripping peak height of arsenic.....	30



Figure	Page
3.5 Effects of potential scan rate (a), supporting electrolyte's concentration (b), deposition potential (c) and concentration of gold plating solution (d) on linear sweep anodic stripping peak current of solution containing 3 mg L^{-1} of As(III) in 1 M HCl (standard deviations were included).....	33
3.6 Typical linear sweep voltammogram of solution containing As(III) 5 mg L^{-1} in 1 M HCl using <i>in-situ</i> gold-film SPCE by SI system controlled by following the step sequence in Table 3.1. Electrochemical parameters and others were used at optimal conditions shown in Table 3.2.	35
4.1 Schematic diagram of the SI/ASV used for the electrode modification and the determination of the arsenic concentration.....	44
4.2 The effect of the amount of Au on the modified SPCE demonstrated through the effect of the volume of the Au(III) solution on the As stripping peak current of a solution containing 3 mg L^{-1} As(III) in 1 M HCl.....	49
4.3 (a) Typical linear sweep anodic stripping voltammograms (the dotted line is a voltammogram of the blank solution.) and (b) the anodic stripping peak currents of the 20 analysis times on the Au-modified SPCE of a solution containing 3 mg L^{-1} in 1 M HCl using an Au(III) solution volume of 0.3 mL for the modification of SPCE without renewal of the Au layer.	51
4.4 Microscopic images of (a) the bare SPCE and (b) the Au-modified SPCE prepared from Table 4.1.	52
4.5 Determination of the As(III) concentration in real water samples using SI/ASV with an Au-modified SPCE.....	54
4.6 A typical linear sweep anodic stripping voltammogram of a solution containing $10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ As(III) in 1 M HCl and in the presence of $100 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ Cu^{2+} (solid line) compared to the voltammogram of a blank solution (dotted line) and the voltammogram of a solution containing $10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ As(III) without interfering ions (dashed line) on an Au-modified SPCE using Au(III) solution volume of 9.2 mL.	56



Figure	Page
4.7 Typical linear sweep anodic stripping voltammograms of a mixed standard solution containing $10 \mu\text{g L}^{-1}$ Cu(II) and $10 \mu\text{g L}^{-1}$ As(III) in 1 M HCl that was directly injected into the SI/ASV (dashed line), a solution pretreated using a TE-3 SPE cartridge (solid line) and a blank solution (dotted line) on an Au-modified SPCE using Au(III) solution volume of 9.2 mL.....	57
4.8 Typical linear sweep anodic stripping voltammograms on an Au-modified SPCE of the pretreated river water samples (Chao Phraya river, Nakhonsawan Province) with a variation in spiked As(III) concentration; $0.00 \mu\text{g L}^{-1}$ (dotted line), $11.5 \mu\text{g L}^{-1}$ (dashed line) and $23.0 \mu\text{g L}^{-1}$ (solid line).	59
4.9 The effect of the deposition potential on the As stripping peak current of solution containing $10 \mu\text{g L}^{-1}$ As(V) in 1 M HCl under the optimal conditions by SI/ASV using Au-modified SPCE.	61
5.1 Schematic diagram of the SI/SWASV system used for the <i>in-situ</i> Au film preparation and the determination of Hg^{2+} concentration.....	71
5.2 Typical square wave anodic stripping voltammograms on the <i>in-situ</i> Au-SPCE of $50 \mu\text{g L}^{-1}$ Hg^{2+} in 1 M electrolyte solutions of HCl (dotted line), HClO_4 (dashed line) and HNO_3 (solid line).....	73
5.3 Effect of the HNO_3 electrolyte concentration on the anodic stripping peak current of $50 \mu\text{g L}^{-1}$ Hg^{2+} by SI/SWASV.	73
5.4 Typical square-wave anodic stripping voltammograms on the <i>in-situ</i> Au-SPCE of $50 \mu\text{g L}^{-1}$ Hg^{2+} in 1 M HCl, either following the medium exchange method to remove Cl^- ion (solid line) or without the medium exchange method (dashed line).	75
5.5 Schematic diagrams of the likely different flow pattern obtained by the three injection methods of the Au-sample with a separating 1 M HNO_3 interlayer of 0 (A), 200 (B) and 500 (C) μL	78



Figure	Page
5.6 Typical square wave anodic stripping voltammograms on the <i>in-situ</i> Au-SPCE of $20 \mu\text{g L}^{-1} \text{Hg}^{2+}$ in 1 M HNO_3 with a Au-sample separating 1 M HNO_3 interlayer of 0 (solid line), 200 (dashed line) and 500 (dotted line) μL	79
5.7 Typical square wave anodic stripping voltammograms on the <i>in-situ</i> Au-SPCE of $20 \mu\text{g L}^{-1} \text{Hg}^{2+}$ alone (solid line), or supplemented with $100 \mu\text{g L}^{-1} \text{Cu}^{2+}$ without (dashed line), or with after pretreatment using a TE-3 SPE cartridge (dotted line).	81



LIST OF ABBREVIATIONS

A	ampere
A	electrode area
AAS	atomic absorption spectroscopy
AFS	atomic fluorescence spectroscopy
As	arsenic
ASV	anodic stripping voltammetry
Au	gold
Au-SPCE	gold-modified screen-printed carbon electrode
BI-LOV	bead injection-lab-on-valve
Cd	cadmium
Cl^-	chloride ion
Cr	chromium
CV	cyclic voltammetry
CVD	chemical-vapor deposition
D	diffusion coefficient
DNA	deoxyribonucleic acid
DPV	differential pulse voltammetry
E_{clean}	cleaning potential
E_{dep}	deposition potential
E^0	standard-state potential
E_p	peak potential
E_{pa}	anodic peak potential
E_{pc}	cathodic peak potential



F	Faraday's constant (96,487 coulombs)
FIA	flow injection analysis
Hg	mercury
ICP-MS	inductively coupled plasma-mass spectrometry
i_p	peak current
i_{pa}	anodic peak current
i_{pc}	cathodic peak current
L	liter
LOV	lab-on-valve
LSASV	linear sweep anodic stripping voltammetry
mV	millivolt
Pb	lead
RSD	relative standard deviation
SD	standard deviation
SI	sequential injection
SIA	sequential injection analysis
SPCE	screen-printed carbon electrode
SW	square wave
SWASV	square wave anodic stripping voltammetry
V	volt
μg	microgram
μL	microliter
v	scan rate

