

การศึกษาปฏิกิริยาในสภาวะแข็งของสารประกอบโลหะและกึ่งโลหะ



นางสาวศิริลักษณ์ สิทธิวางค์กุล

005042

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2521

STUDY ON SOME SOLID-REACTIONS OF METALLIC AND
SEMI-METALLIC COMPOUNDS

MISS SIRILUCK SITTHIVANGKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemistry

Graduate School

Chulalongkorn University

1978

i 1747632x

Thesis Title : Study on Some Solid-Reactions of Metallic and
Semi-Metallic Compounds.
By : Miss Siriluck Sitthivangkul
Department : Chemistry
Thesis Advisor : Archan Rosna Autchakit

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University
in partial fulfillment of the requirements for the Master's degree.

Visid Prachuabmoh
..... Dean of Graduate School
(Professor Visid Prachuabmoh, Ph.D.)

Thesis Committee

Sunt Techakumpuch
..... Chairman
(Associate Professor Sunt Techakumpuch, Ph.D.)

Surang Anugul
..... Member
(Assistant Professor Surang Anugul, M.S.)

Supanich Pramatus
..... Member
(Assistant Professor Supanich Pramatus, M.Sc.)

Rosna Autchakit
..... Member
(Archan Rosna Autchakit, M.Sc.)



หัวข้อวิทยานิพนธ์	: การศึกษาปฏิกิริยาในสภาวะแข็งของสารประกอบโลหะและกึ่งโลหะ
ชื่อนิสิต	: นางสาว ศิริลักษณ์ สิทธิวงค์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	: อาจารย์ รศนา อัชชะกิจ
แผนกวิชา	: เคมี
ปีการศึกษา	: 2520

บทคัดย่อ

การศึกษาปฏิกิริยาเคมีในสภาวะแข็ง สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการบุกเบิกเพื่อวางแนวทางในการหาข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อเท็จจริงมากที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ ดังนั้น ผลการทดลองจึงมีได้นำไปสู่จุดหมายปลายทางที่สมบูรณ์ตามที่ควรจะเป็น

งานวิจัยนี้เริ่มต้นสำรวจการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเนื่องมาจากสารอนินทรีย์เคมีในสภาวะแข็ง 2 ชนิดสัมผัสกันที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้ความดันปกติในระหว่างช่วงระยะเวลาอันไม่เกิน 2 วัน การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้จากสีที่แตกต่างจากสีเดิมของสารตั้งต้น โดยเรียกส่วนที่มีสีเปลี่ยนไปจากเดิมนั้นว่าเป็นผลิตภัณฑ์ จากการจัดคู่ระหว่างสารอนินทรีย์ 170 ชนิด ซึ่งจะได้ถึง 28,730 คู่ นั้น พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในทันทีทันใด 131 คู่ ภายใน 3 ชั่วโมง 196 คู่ ภายใน 1 วัน 463 คู่ และ ภายในเวลาประมาณ 2 วัน 24 คู่ รวมทั้งหมด 814 คู่ และเนื่องจากสารตั้งต้นแต่ละคู่อาจเกิดผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าหนึ่งจำนวนขึ้นไป ฉะนั้น จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจึงมีประมาณ 964 ชนิด

ได้นำผลิตภัณฑ์ที่สังเกตพบว่ามีสีแตกต่างจากสารตั้งต้นไปทดสอบหาข้อมูล สำหรับนำมาเปรียบเทียบเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้วยวิธีการหลายอย่าง

สำหรับการทดสอบ เพื่อแสดงความแตกต่างในเชิงองค์ประกอบทั้งชนิดและปริมาณนั้น ได้ใช้วิธีการทางเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence method) อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared Spectroscopy) รวมทั้งวิธีวิเคราะห์แบบเคมีไมโคร

(Semi-micro techniques) ปรากฏในผลการทดลองว่า ได้มีการกระจายตัวขององค์ประกอบภายในผลิตภัณฑ์ให้ทั้งชนิดและปริมาณที่ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์แตกต่างจากสารตั้งต้นอย่างเด่นชัด

สำหรับการทดสอบเพื่อจุดประสงค์เปรียบเทียบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ ได้กระทำโดยใช้ วิธีการทาง อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (Infrared Spectroscopy) และเอกซเรย์ คริสตัลโลกราฟี (X-ray Crystallography) แบบ เพาเคอร์ (Powder method) ผลการทดลองรายงานว่า ผลิตภัณฑ์แตกต่างไปจากสารตั้งต้นโดยสิ้นเชิง

นอกจากนั้น ทิศทางของการแพร่กระจายในขณะเกิดการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์สังเกตในช่วงเวลาที่สามารถกระทำได้ พบว่า ขบวนการดำเนินด้วยวิธีทางที่แตกต่างกันถึง 6 ประเภท

การทดสอบ เพื่อยืนยันขบวนการในการแพร่กระจายขององค์ประกอบทั้งหลายได้กระทำ โดยติดตาม ความสามารถในการนำไฟฟ้าในขณะที่การเปลี่ยนแปลงกำลังดำเนิน เปรียบเทียบกับความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารตั้งต้นแต่ละชนิด

จากผลงานทั้งหมด เมื่อถึงขั้นตอนนี้ พอสรุปได้ว่า การนำสารอินทรีย์เคมีในสถานะแข็งมาสัมผัสกันนั้น นับเป็นปรากฏการณ์ของปฏิกิริยาเคมีระหว่างของแข็ง-ของแข็ง

Thesis Title : Study on Some Solid - Reactions of Metallic and
Semi - Metallic Compounds

Name : Miss Siriluck Sithivangkul

Thesis Advisor : Archan Rosna Autchakit

Department : Chemistry

Academic Year : 1977

ABSTRACT

Study of chemical reaction in solid state for this research work appears to act as a pioneer in providing information as much as possible. It was never intended to draw to any conclusion beyond the title of study.

The work started to investigate any change after two solid inorganic compounds were brought into contact with each other at room temperature, under normal pressure. The alternation of colour from the starting material was observed within the range not more than 2 days. The newly colour portion was named product of reaction. The pairing of 170 inorganic compounds sending to 28,730 pairs was found to be instantaneous change of colour about 131 pairs, 196 pairs per 3 hours, 463 pairs per day, and 24 pairs within 2 days. According to each pair of system could produce more than one colour then there were all together 964 products obtained from 814 pairs of starting material. The chemistry of coloured product was studied with several methods of analysis.

X-ray fluorescence method, infrared spectroscopy and semi-micro techniques were used to observe for both in qualitative and quantitative informations. The results distinguished obviously the difference in every system.

Infrared spectroscopy and powder techniques of X-ray crystallography were introduced to differentiate the existance of reaction product. The results reported completely the new pattern.

Furthermore the direction of coloured diffusion during available time showed 6 types of formation process.

The diffusion of chemical species, both in starting material and product in each system, was confirmed with theirs conductivity.

It might come to the conclusion that there are solid-solid reaction between two inorganic compounds.

ACKNOWLEDGEMENT

I wish to express my sincere thanks to Archan Rosna Autchakit for her constant guidance and encouragement during all stages of this work. I greatly appreciate the kindness of Assistant Professor Dr. Phatana Phavanantha for his valuable suggestions and providing the X-ray powder patterns. I also wish to express my deep gratitude to Assistant Professor Sukda Siripant for his permission to use the photographic Laboratory. Appreciation and thanks are due to Mr. Somporn Jongkam, member of Physics Division, Office of Atomic Energy for Peace, for his kindness to operate the X-ray fluorescence instrument and many valuable suggestions. All the X-ray powder patterns are provided by Mr. Lapthong Chumboonrawd and are reproduced by Miss. Thida Jeenapant. These are gratefully acknowledged.

Appreciation and thanks are also due to the Staff of the Electrical Engineering Laboratory, King Mongkut's Institute of Technology (North Bangkok Campus) for good cooperation in measurement the conductivity of solid state chemicals and many valuable suggestions. I also wish to express my deep gratitude to Archan Chuvit Panichpat and many other friends who assisted and stimulated me in various ways.

This work was made possible by a grant from University Development Commission. This is gratefully acknowledged.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (IN THAI).....	iv
ABSTRACT.....	vi
ACKNOWLEDGEMENTS.....	viii
LIST OF TABLES	xii
LIST OF FIGURES.....	xiv
CHAPTER	
1. INTRODUCTION.....	1
2. SOLID STATE CHEMISTRY.....	10
3. SOLID REACTION.....	56
4. EXPERIMENTAL.....	67
4.1 Materials.....	67
4.2 Preliminary investigation of solid reactions...	68
4.3 Study of kinetic and mechanism of investing reactions.....	69
4.4 The comparison study with instrumental method..	69
4.4.1 X-ray Fluorescence Study.....	69
4.4.1.1 Preparation of standard sample.	70
4.4.1.2 Percentage determination.....	70
4.4.2 Infrared Spectrophotometric.....	71
4.4.3 X-ray powder diffraction studies.....	71

	PAGE
4.5 Conductivity measurement.....	72
4.5.1 Preparation of sample.....	72
4.5.2 Apparatus.....	72
4.5.3 Conductivity measurement of reactants and reactions in solid-states.....	73
5. RESULT AND DISCUSSION.....	75
5.1 The information of preliminary investigation of solid reactions.....	76
5.2 Rate of growth of product.....	120
5.3 Percentage determination of heavy elements in some products from solid-solid reaction by X-ray fluorescence technique.....	131
5.4 Examination of complex product by infrared spectroscopic method.....	141
5.5 Investigation of solid-solid reaction product by X-ray powder method	172
5.6 The conductivity measurement of both inorganic compound and solid-solid reaction.....	181
5.6.1 The conductivity measurement of inorganic compound.....	181
5.6.2 The conductivity measurement of solid-solid reactions.....	190

	PAGE
5.7 Concluding remarks and the suggestion for future work.....	196
REFERENCES.....	197
APPENDICES.....	202
VITA.....	248

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 The seven crystal systems.....	19
4.1 Collection of chemical reagents with their properties.....	67
5.1 Solid-solid reactions of inorganic compounds.....	76-119
5.2 Result of growth rate of solid reaction	
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	120
5.3 Result of growth rate of solid reaction	
$\text{KF} + (\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$	121
5.4 Result of growth rate of solid reaction	
$\text{KCNO} + \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	122
5.5 Result of growth rate of solid reaction	
$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	123
5.6 Result of growth rate of solid reaction	
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NaSCN}$	124
5.7 Result of growth rate of solid reaction	
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	125
5.8 Result of growth rate of solid reaction	
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{KCN}$	126
5.9 Data for the Calibration curve.....	131
5.10 Result of percentage determination of heavy elements in some products from solid-solid reaction by X-ray fluorescence technique.....	137

TABLE

PAGE

5.11	Conductivity measurement of inorganic compound	
	KCN, KCNO, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	181
	KF, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, KNO_3	182
5.12	Conductivity measurement of solid-solid reaction	
	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{KCN}$	191
	$\text{KNO}_3 + \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	191
	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	191
	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	192
	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	192
	$\text{KCNO} + (\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$	192



LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 Example of a point lattice.....	13
2.2 The effect of rotating about two equivalent n-fold points by $+\frac{2\pi}{n}$ and $-\frac{2\pi}{n}$ radians.....	14
2.3 The five two dimensional lattice	16
2.4 The six crystal systems.....	17
2.5 Edge dislocation.....	21
2.6 Motion of an edge dislocation under shear, leading to slip..	22
2.7 Production of interstitials or annihilation of vacancies by dislocation climb; motion in the opposite sense produces vacancies and annihilates interstitials.....	23
2.8 Screw dislocation.....	23
2.9 Interstitials and vacancies.....	24
2.10 (a) crystal with Frenkel defects (b) ideal crystal (c) crystal with Schottky defects	25
2.11 Production of cation vacancies in AgCl by the addition of a divalent impurity.....	28
2.12 Effect of addition of a monovalent impurity on NiO (controlled valency).....	29
2.13 Energy as a function of spacing, for a linear array of six atoms.....	36

FIGURE	PAGE	
2.14	Number of states as a function of energy, for the free electron model. Hatched area shows filling at $T = 0^{\circ}\text{K}$; at higher temperatures the filling curve is rounded.....	38
2.15	Electron energies as a function of wave number, for (a) free electrons, and (b) electrons moving in a periodic potential. The allowed energy bands (as a function of distance through the crystal) are shown in (c).....	41
2.16	Some of the energy bands in sodium and in diamond.....	42
2.17	The relative distribution of energy level for (a) the Al atom, (b) Al metal, (c) Al_2O_3 . Occupied levels in the Al metal and Al_2O_3 energy bands are hatched.....	44
2.18	The relative distribution of energy levels for (a) the Al atom, (b) Al metal, and (c) Al_2O_3 . Occupied levels in the Al metal and AlO_3 energy bands are hatched.....	45
2.19	X-ray K-emission and K-absorption spectra of aluminium metal compared with the K-emission line of the aluminium atom.....	46

FIGURE	PAGE	
2.20	Calculated distribution $N(E)$ of energy for the valence band of aluminium metal. The zero of the scale is the bottom of the band. Occupied levels are hatched.....	47
2.21	A typical metal $N(E)$ against E plot such as would give rise to the X-ray spectra found for aluminium metal, Fig. 2.19. Occupied levels are hatched.....	47
2.22	X-ray K-emission and K-absorption spectra of aluminium oxide.....	48
2.23	A typical non-metal $N(E)$ against E plot such as would give rise to the X-ray spectra found for Al_2O_3 (Fig 2.22); Occupied levels are hatched.....	49
2.24	The relationship between kinetic energy and reciprocal wavelength.....	49
2.25	The relationship between kinetic energy and wavelength for a three dimensional lattice where the repeat distance a is different in three directions.....	50
2.26	The distribution of energy levels.....	50
2.27	The effect of an electric on the energy of the electrons travelling in opposite directions.....	51
2.28	Filling of energy bands in insulators conductors and semiconductors.....	53
2.29	Energy V.S. wave number.....	54
2.30	The distribution of energy levels.....	55

FIGURE	PAGE
3.1 Schematic for the preparation of Ag_2HgI_4 by solid reaction of AgI and HgI_2	57
3.2 Schematic of a solid-state <u>addition reaction</u> , showing ionic motions and reactions at the interfaces with the assumption that both cations are mobile in the product phase.	58
3.3 Schematic of layer structure for the experiment of solid-solid reaction, AgI and HgI_2	60
3.4 Schematic of layer structure for solid-solid reaction of AgCl and NaI, after motion of anion.....	62
3.5 Powder reaction of AgCl + NaI after Wagner.....	63
3.6 Schematic of a solid-state <u>double decomposition reaction</u> , showing ionic motions and reactions at the interfaces.....	64
3.7 Schematic of solid-state reaction requiring flow of electrons through product phases.	65
4.1 Reaction of solid A and B to give product P.....	68
4.2 Block diagram of the X-ray fluorescence.....	70
4.3 The electric circuit for conductivity measurement in solid state.....	73
4.4 The enlargement of tested element part.....	73

FIGURE		PAGE
	Calibration curve of	
5.1	Manganese in reaction $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	133
5.2	Iron in reaction $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	133
5.3	Iron in reaction $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{AgNO}_3$	134
5.4	Silver in reaction $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{AgNO}_3$	134
5.5	Tin and Iodine in reaction $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{KI}$	135
5.6	Tin and Bismuth in reaction $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} +$ $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	135
5.7	Cadmium in reaction $\text{CdBr}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	136
5.8	Bromine in reaction $\text{CdBr}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	136
5.9	IR pattern of reactants and products of solid-solid reaction.....	143
5.9.1	$\text{KF} + \text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	143
5.9.2	$\text{KF} + \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	144
5.9.3	$\text{KF} + (\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$	145
5.9.4	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	146
5.9.5	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	147
5.9.6	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	148
5.9.7	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	149
5.9.8	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	150
5.9.9	$\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	151
5.9.10	$\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	152
5.9.11	$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{KI}$	153

FIGURE	PAGE
5.9.12 $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	154
5.9.13 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	155
5.9.14 $\text{CdBr}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	156
5.9.15 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + \text{KCN}$	157
5.9.16 $\text{KNO}_3 + \text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	158
5.9.17 $\text{KNO}_3 + \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	159
5.9.18 $\text{AgNO}_3 + \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	160
5.9.19 $\text{KCN} + \text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	161
5.9.20 $\text{KCN} + \text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	162
5.9.21 $\text{KCN} + \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	163
5.9.22 $\text{KCNO} + \text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	164
5.9.23 $\text{KCNO} + \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	165
5.9.24 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + \text{NaSCN}$	166
5.9.25 $\text{Ti} \cdot \text{K}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 + \text{NaSCN}$	167
5.9.26 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	168
5.9.27 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	169
5.9.28 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	170
5.9.29 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	171
5.10 X-ray powder pattern of reactant and product of solid-solid reaction.....	173
5.10.1 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	173
5.10.2 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{KCNO}$	174
5.10.3 $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{KI}$	175

FIGURE		PAGE
5.10.4	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{KCN}$	176
5.10.5	$\text{AgNO}_3 + \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	177
5.10.6	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	178
Conductivity measurement of		
5.11	KCN.....	183
5.12	KCNO.....	184
5.13	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	185
5.14	KF.....	186
5.15	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	187
5.16	KNO_3	188
Conductivity of solid solid reaction		
5.17	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{KCN}$	193
5.18	$\text{KNO}_3 + \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	193
5.19	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	194
5.20	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	194
5.21	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	195
5.22	$\text{KCNO} + (\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$	195