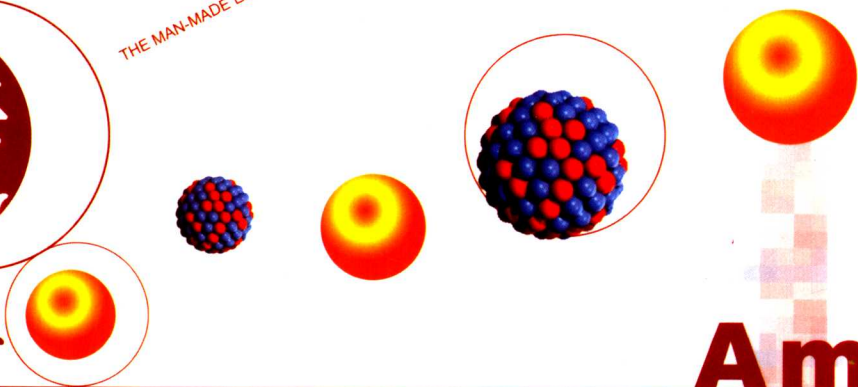




人造元素

THE MAN-MADE ELEMENTS
THE MAN-MADE ELEMENTS
THE MAN-MADE ELEMENTS
THE MAN-MADE ELEMENTS

上海科普创作出版专项资金资助

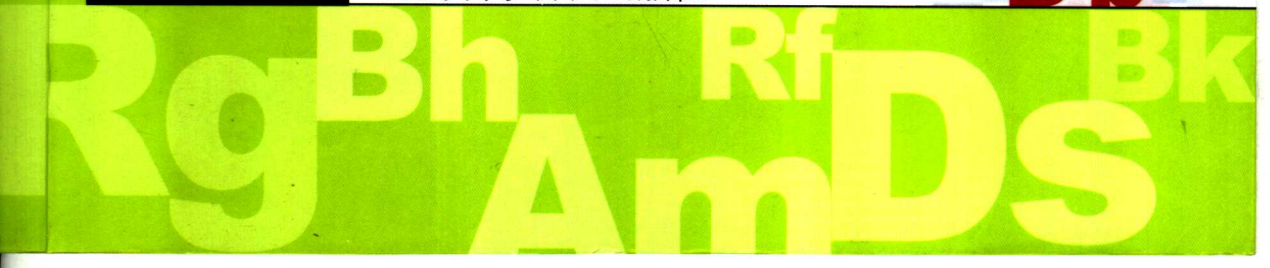


Am

Sg

Db

蔡善钰 著
王方定 张焕乔 赵 葵 主审
上海科学普及出版社



上海科普创作出版专项资金资助

人 造 元 素

(The Man-Made Elements)

蔡善钰 著

王方定 张焕乔 赵 葵 主审

图书在版编目(CIP)数据

人造元素/蔡善钰著. —上海: 上海科学普及出版社, 2006. 1

ISBN 7-5427-2737-0

I. 人... II. 蔡... III. 化学元素—前沿知识
IV. 0611

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 084260 号

责任编辑 陈英黔

人 造 元 素

蔡善钰 著

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销

常熟高专印刷有限公司印刷

开本 787×960 1/16 印张 27.5 插页 1 字数 492 000

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—3 100

ISBN 7-5427-2737-0/O · 122 定价: 38.00 元

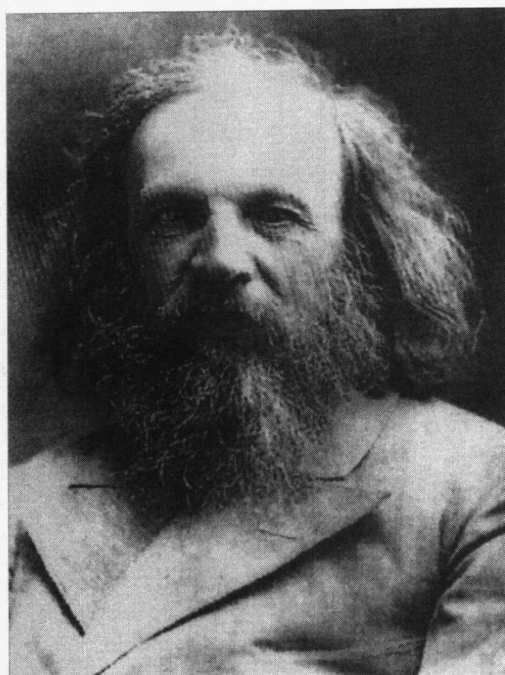
本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题
请向出版社联系调换

内 容 简 介

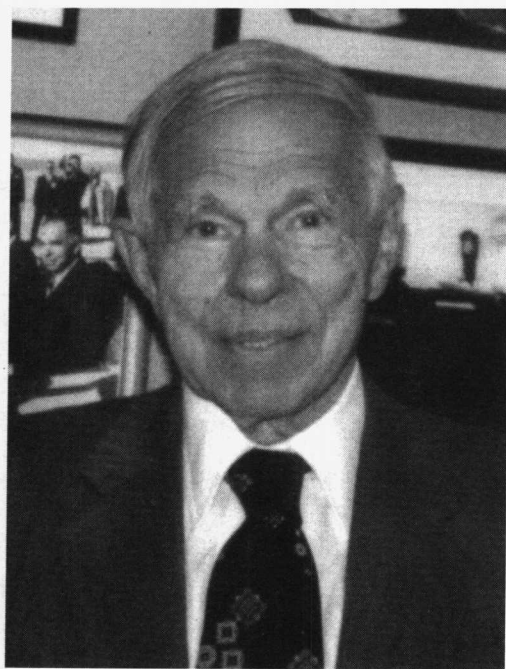
以门捷列夫元素周期律和西博格的锕系理论为主线,综述了半个多世纪以来,一系列人造元素的发现与鉴定、合成途径、化学与物理分离技术,以及制备与生产等内容。

书中搜集了多种形式的元素周期表。并以大量图表全面介绍了人造元素的重要应用,包括作为核武器的装料、动力堆的燃料、合成重元素的靶料、多用途的放射源和同位素能源、以及作为核医学诊断和治疗工具等,并展望了人造元素合成的发展前景。此外,还简介了我国新核素的研究。书中出现了110号元素Ds和111号元素Rg及作者建议的中文名称——𨭎和𨭏。

本书可供化学、物理、核能、航天、石油、地质、核仪表和核医学等专业工作者参考,也可供大专院校和中等学校基础课教学参考以及对上述科学领域感兴趣的读者阅读。



化学元素周期表创始人
俄国化学家门捷列夫(Д. Менделеев)
(1834~1907)



铜系理论创立者 诺贝尔化学奖得主
美国核化学家西博格(G. T. Seaborg)
(1912~1999)

序 言

1985年至1987年,蔡善钰教授作为访问学者,在美国劳伦斯-伯克利实验室(LBNL)吉奥索博士领导的新元素新同位素研究组和达玲·霍夫曼教授领导的重元素核化学和放射化学组工作。为了熟悉当时核化学领域中正在发展的一些现代技术,他参加了各种科研计划。这些计划包括锕系靶子的重离子照射,随后实施锕系元素的化学分离和辐射测量,以确定它们的产生截面。

蔡善钰意识到在核化学实验以及生产新元素新同位素的过程中,最重要的问题之一是如何更好地制造所需要的重元素靶子,这是一项长期的也是必不可少的工作。蔡善钰在配合吉奥索博士寻找110号元素的准备工作中,他们共同切磋,产生了一种想法:廉价打印机中使用的一种喷墨盒,是否可用来作为制造靶子的装置呢?这也许是值得开发的一种制靶新方法。于是便开始了一项小型研究计划,蔡善钰付诸实施直至完成。在此期间,还发表了一篇有关该工艺的文章(见LBL-23409,1987或Nucl. Instr. and Meth. A303, 1991, P141),这是蔡善钰参与用在本实验室某些工艺研究的前期工作介绍。

在参加各种实验的同时,蔡善钰对劳伦斯-伯克利国立实验室有关重元素化学性质和核性质研究方面的丰富历史和众多文献颇感兴趣,

因而使他更便于获得大量资料,浏览其中主要论著,并把这些融入到了《人造元素》(中文版)一书中。在他所查阅的文献中,大多是英文著作,虽然我们不能阅读中文,但我们确信凭着他一贯认真的作风,会将这些素材很好地译成中文,又尽量保持技术上的正确性,并力图体现广泛的重元素研究计划的开拓精神。这是一件需要付出巨大努力的事情,蔡善钰为了完成写作,花费了数年时间。对于该书的完稿,我们在此谨表祝贺。相信该书的出版能使“人造元素”这一主题易于为许多使用中文的科学家、非专业人士和学生所了解,要不然他们就没有机会来接触、来探索这一激动人心的处于科学前沿的研究领域。

吉奥索(Albert Ghiorso)

达玲·霍夫曼(Darleane C. Hoffman)

Preface

Professor CAI Shan-yu spent the years from 1985 to 1987 at the Lawrence Berkeley Laboratory as a visiting scientist working with Dr. Albert Ghiorso and Professor Darleane C. Hoffman's groups. He participated in various projects in order to become familiar with some of the modern techniques used in the nuclear chemistry experiments that were in progress at that time. These involved heavy ion irradiations of actinide targets followed by chemical separations and radiation measurements of the actinides to determine their production cross sections.

One of the important problems that he became aware of was the perennial but indispensable task of how best to manufacture the heavy element targets needed for the nuclear chemical experiments and the production of new isotopes and even new elements. The thought occurred to CAI and Ghiorso that perhaps a new method might be worth developing, namely the use of an ink-jet cartridge, often used in inexpensive printers. Could that device be put to use? A small project was started that he carried to completion, and a paper was published on the process. This was a "hands-on" Introduction for CAI into some of the research processes used in our laboratory.

Along with his participation in a variety of experiments, he became interested in Learning more about the colorful history and literature relating

to research on both the chemical and nuclear properties of heavy elements at Berkeley. This made it both more interesting and easier for him to acquire and translate accurately the enormous body of work which he has incorporated in this book on "The Man-Made Elements" (in Chinese). He has examined the existing literature, mostly in English, and although we cannot read Chinese we feel sure that he has applied his usual care in translating it into Chinese in an effort to keep the Chinese text technically correct and also in an attempt to embody the frontier spirit of the extensive heavy element research programs. This is an extremely ambitious undertaking which has taken him several years to finish and we congratulate him on its completion. It should make this subject readily accessible to a host of Chinese speaking scientists, lay people, and students who might otherwise not have the opportunity to explore this exciting frontier research area.

Albert Ghiorso

Albert Ghiorso

Darleane C. Hoffman

Darleane C. Hoffman

前言

1983年,作者通过我国教育部主持的英语水平测试(EPT)和英国文化中心主持的国际英语水平测试(ELTS)后获得了英国政府提供的 TC 奖学金。但遗憾的是联系的英国两个单位尚未对外开放而未能成行。后经萧伦院士和汪德熙院士的推荐,与美国加利福尼亚大学劳伦斯-伯克利国立实验室(LBNL)副所长诺贝尔化学奖获得者西博格(Glenn T. Seaborg)教授取得了联系,他很快给作者发来了邀请函。办好一切手续后,于1985年9月以访问学者身份启程赴美。

到达伯克利之后,西博格教授安排作者在由他直接领导、后由达玲·霍夫曼(Darlean C. Hoffman)教授(原任洛斯·阿拉莫斯实验室化学和核化学部主任)接任的重元素核化学和放射化学组工作,当时正好赶上103号元素——铼的化学研究。之后,领导新元素及新同位素组的吉奥索(A. Ghiorso)博士征得西博格教授的同意,让作者参加寻找110号元素的一些前期准备工作(当时他正忙于建造 SASSY-2 装置,让作者从事制靶新方法和新工艺研究)。

在劳伦斯-伯克利国立实验室工作期间,作者参加了西博格教授每两周一次召集上述两组成员举行的午餐会和达玲·霍夫曼教授每周召集一次的组会。通过参加各种实验和学术讨论,作者对重元素的研究工作有了较多的了解,并联名发表了有关铼化学研究及加速器靶子制备新方法研究等文章。之后,应美国同位素制品实验室(IPL)总裁阿姆劳尔(K. Amieur)博士的邀请,又从事了一段时间的放射源研究。建立了在不锈钢基底上批量制备 ^{239}Pu 、 ^{241}Am 和 $^{244}\text{Cm}(\alpha)$ 源的新工艺,并对 β 点源、穆斯堡尔源等制备工艺作了改进。

回国后作者一直与 LBNL 和 IPL 保持着联系。1992年吉奥索博士给作者寄

来了“95—106号元素的发现”(The Discovery of Elements 95—106)一文。在放射性发现一百周年之际,西博格教授应作者要求很快寄来了《半个世纪的合成元素》(A Half Century of Synthetic Elements)。《核医学发展 100 年》(Nuclear Medicine 100 Years in the Making)等四份宝贵资料,供中国同仁撰写纪念文章时参考。其中有的文章还尚未正式发表,使大家深受感动。

在整理和阅读资料的过程中引发了作者撰写一本有关人造放射性元素(或称“人造元素”)一书的想法。当作者把这一打算告诉萧伦先生后,他欣然赞同并推荐给有关出版社。同位素研究所前后几任领导也给予了支持。但这本书的写作难度很大,因为它属于当代科学的前沿领域,不免有些怯步。当作者把这一想法告诉西博格教授后,他十分赞赏,并表示一俟完成手稿,他乐意为本书作序,这无疑是对作者的莫大鼓舞。

1997年至1998年开始做写作的前期准备工作。正在这个时候,萧伦院士主编的《放射性同位素技术》一书,分配给作者撰写三个章节,因此直至2000年再重新捡起《人造元素》一书的写作。利用三年的晚上和节假日休息时间完成了初稿。在写作过程中,吉奥索和霍夫曼教授于2001年5月又寄来了他们和西博格教授合著的《超铀人——里边的故事》(The Transuranium People, The Inside Story)一书,供作者参考,这又一次给了作者以极大激励。

《人造元素》一书以门捷列夫元素周期律和西博格教授的锕系理论为主线对一系列人造元素发现的叙述约占了全书的三分之一,作者试图将不同发明人对同一元素发现过程的描述,以及同一发明人在不同时期所作的回顾联系在一起,力求详尽、确切;人造元素的制备部分也约占了三分之一,对合成途径、分离技术、使用装置和生产工艺进行了综合,力求系统、完整;此外,人造元素的应用部分也约占了三分之一,其中大部分应用领域,作者在40年的工作生涯中曾先后涉足或有关联,因此写作过程也是一次认识提升和实践总结的过程,力求全面、实用。本书的最后部分展望了人造元素合成的发展前景,还概括介绍了我国新核素的研究。

在此书写作过程中,核化学先驱西博格教授和我国放射化学前辈萧伦院士于1999年和2000年相继去世。原来他们都应允为本书作序,现已不能见到他们在序言中对人造元素的精辟阐述,这不能不说是一个遗憾。在此,作者要特别感谢在LBNL工作期间的两位导师,与西博格教授共事多年的世界著名核科学家吉奥索博士和达玲·霍夫曼教授为本书作序,并多次解答了作者请教的问题。还要感谢加拿大化学教授杜福(F. Dufour)给我寄来了数幅他潜心研究的三维周期表照片。

同时,衷心感谢国内以下有关专家在百忙中抽出宝贵时间审阅本书,并提出宝贵意见:王方定院士审阅了全书,重点为核化学部分,张焕乔院士和赵葵研究员重点审阅了核物理部分,林漳基研究员和何健玉研究员审阅了第六、八章,陈志才研究员审阅了第二、三、四、五、七章,郭高品研究员审阅了第九章第一节,张忠岳研究员审阅了第九章第二节,孙树正研究员审阅了第九章第四节,马寄晓教授审阅了第九章第六节,杨维凡研究员等审阅了后记。

最后作者还要感谢上海科学普及出版社审读编辑部主任陈英黔编审等在编辑出版过程中所付出的辛勤劳动;原子能出版社两位编审乐俊楚和潘金娣给予的具体帮助;以及我的家人在国内外搜集了各类元素周期表。

本书涉及领域广,写作难度大,限于作者水平,若有错误或不当之处,恳请读者不吝赐教。

蔡善钰

2005年5月于

中国原子能科学研究院同位素研究所

目 录

Contents

1

周期表的创立与扩充

(Creation and Extension of the Periodic Table)/1

- 1.1 门捷列夫的“周期律” (Mendeleev's Periodic Laws)/1
 - 1.1.1 元素周期律的发现 (Discovery of the Periodic Law of the Elements)/1
 - 1.1.2 元素周期律的完善 (Perfection of the Periodic Law of the Elements)/3
 - 1.1.3 元素周期律的本质 (Essence of the Periodic Law of the Elements)/4
- 1.2 西博格的“锕系概念” (Seaborg's Actinide Concept)/5
 - 1.2.1 早期超铀元素寻找 (Early Searches for the Transuranium Elements)/6
 - 1.2.2 “锕系概念”的阐明 (Formulation of the Actinide Concept)/6
 - 1.2.3 “锕系概念”的验证 (Verification of the Actinide Concept)/8
- 1.3 元素周期表的扩充 (Extension of the Periodic Table of the Elements)/10
 - 1.3.1 锕系锕系电子层结构 (Electronic Structure of the Actinide and Lanthanide)/11
 - 1.3.2 锕系理论的最后肯定 (Confirmation of the Actinide Theory)/11
- 1.4 元素周期表的形式 (Different Presentation Forms of Periodic Table of the elements)/13
 - 1.4.1 短式周期表 (Short-form Periodic Table)/13
 - 1.4.2 长式周期表 (Long-form Periodic Table)/15
 - 1.4.3 竖式周期表 (Vertical Periodic Table)/15
 - 1.4.4 塔式周期表 (Tower-form Periodic Table)/15

- 1.4.5 圆形周期表 (Circular Periodic Table)/15
- 1.4.6 异形周期表 (Special-Shaped Periodic Table)/18
- 1.4.7 量子形式周期表 (Quantum-form Periodic Table)/18
- 1.4.8 三维(立体)周期表 (Three-dimensional Periodic Table)/22

2

铀前人造元素的发现

(Discovery of Pre-uranium Man-Made Elements)/23

- 2.1 43号元素锝(Tc)/24
- 2.2 61号元素钷(Pm)/27
- 2.3 85号元素砹(At)/30
- 2.4 87号元素钫(Fr)/33

3

超铀元素的发现

(Discovery of the Transuranium Elements)/36

- 3.1 超铀元素发现的前奏 (Prelude to the Transuranium Elements)/36
- 3.2 93号元素镎(Np)/38
- 3.3 94号元素钚(Pu)/39
- 3.4 95号元素镅(Am)和96号元素锔(Cm)/44
- 3.5 97号元素锫(Bk)和98号元素锇(Cf)/50
- 3.6 99号元素镱(Es)和100号元素镻(Fm)/53
- 3.7 101号元素钔(Md)/60
- 3.8 102号元素锘(No)/65
- 3.9 103号元素铹(Lr)/73

4

锕系后元素的发现

(Discovery of the Transactinide Elements)/77

- 4.1 104号元素𬵓(Rf)/77
- 4.2 105号元素𬵔(Db)/84
- 4.3 106号元素𬵕(Sg)/88
- 4.4 107号元素𬵖(Bh)/93

- 4.5 108 号元素𨨲(Hs)/95
- 4.6 109 号元素𨨳(Mt)/97
- 4.7 110 号元素𨨴(Ds)/99
- 4.8 111 号元素𨨵(Rg)/104
- 4.9 112 号元素/107

5

人造元素的合成途径 (Synthetic Route of Man-Made Elements)/111

- 5.1 反应堆内长期照射 (Long-term Irradiation in Reactor)/111
- 5.2 核爆炸时瞬间合成 (Instantaneous Synthesis by Nuclear Explosion)/114
- 5.3 轻粒子引起核反应 (Light Charged Particles-induced Nuclear Reaction)/116
- 5.4 重离子引起核反应 (Heavy Ions-induced Nuclear Reaction)/117

6

人造元素的化学分离技术 (Chemical Separation Techniques of Man-Made Elements)/123

- 6.1 共沉淀法 (The Method of Coprecipitation)/123
 - 6.1.1 共沉淀机理 (The Mechanism of Coprecipitation)/124
 - 6.1.2 磷酸铋流程由来 (Origin of Bismuth Phosphate Process)/124
 - 6.1.3 磷酸铋流程概要 (Outline of Bismuth Phosphate Process)/125
- 6.2 溶剂萃取法 (The Method of Solvent Extraction)/127
 - 6.2.1 阳离子交换萃取 (Extraction of Cation Exchange)/127
 - 6.2.2 中性有机分子萃取 (Extraction of Neutral Organic Molecules)/129
 - 6.2.3 阴离子交换萃取 (Extraction of Anion Exchange)/130
 - 6.2.4 应用实例 (The Example of Usage)/131
- 6.3 离子交换法 (The Method of Ion Exchange)/133
 - 6.3.1 离子交换机理 (The Mechanism of Ion Exchange)/133
 - 6.3.2 阳离子交换法 (Method of Cation Exchange)/133
 - 6.3.3 阴离子交换法 (Method of Anion Exchange)/134
 - 6.3.4 应用实例 (The Example of Usage)/134

- 6.4 萃取色谱法 (The Method of Extraction Chromatography)/136
 - 6.4.1 萃取色谱机理 (The Mechanism of Extraction Chromatography)/137
 - 6.4.2 应用实例 (The Example of Usage)/138
- 6.5 快化分离法 (The Method of Fast Chemical Separation)/139
 - 6.5.1 快化分离的目标 (Destination of Fast Chemical Separation)/140
 - 6.5.2 间断式分离方法 (The Batch Approach)/140
 - 6.5.3 连续式分离方法 (The Continuous Approach)/140
 - 6.5.4 应用实例 (The Example of Usage)/141

7

人造元素的物理分离技术

(Physical Separation Techniques of Man-Made Elements)/143

- 7.1 氦气喷射术 (Helium-jet Techniques)/143
 - 7.1.1 母-子体方法 (Mother-daughter Method)/145
 - 7.1.2 符合测量方法 (Coincidence Measuring Method)/146
- 7.2 轮带传输术 (Wheels and Tapes Transport Techniques)/146
 - 7.2.1 轮式传输技术 (Wheels Transport System)/147
 - 7.2.2 带式传输技术 (Tapes Transport System)/147
- 7.3 速度选择器 (Velocity Selector)/150
 - 7.3.1 初期制造的 SHIP (GSI's Early SHIP)/150
 - 7.3.2 改进之后的 SHIP (GSI's Improved SHIP)/152
- 7.4 充气分离器 (Gas-filled Separator)/153
 - 7.4.1 伯克利早期的 SASSY (SASSY in Berkeley)/154
 - 7.4.2 杜布纳的 DGFRS (DGFRS in Dubna)/156
 - 7.4.3 伯克利新建的 BGS (New BGS in Berkeley)/157

8

人造元素的生产工艺

(Production Technology of Man-Made Elements)/160

- 8.1 人造元素生产概况 (Outline of Man-Made Elements Production)/160
- 8.2 钚(^{239}Pu)的生产 (Production of Pu-239)/165
- 8.3 镎(^{237}Np)的生产 (Production of Np-237)/174