

原子衝突ハンドブック

技 術 篇

文部省科学研究費補助金特定研究

「原子過程科学の基礎」総括班

1 9 8 2

本書は昭和56年度文部省科学研究費補助金特定研究「原子過程科学の基礎」
総括班(代表者：宇宙科学研究所 高柳和夫)により刊行されたものである。

序 文

「こうやれば必ずうまくいく」という特集はスマートでもあり、また大変役立つものにはちがいない。しかし、実験の種類によっては得手、不得手に個人差があるから、必ずうまくいくとは限らない。そこには言葉では表わしきれないノウハウがある。その反面、「こうやったら必ず失敗する」という方は、個人差によらず真理に近いものがあるように思われる。

さて特定研究「原子過程科学の基礎」も3年を経過し、それぞれの研究計画も順調に進展して多くの成果、実験技術の集積がなされてきた。しかし確立された技術のかけには、人知れぬ沢山の失敗談、苦心談はつきものである。そこで第3集としては、インフォーマルなハンドブックでなくてはできない企画として、実験上のソフトの誤り、ハードのむずかしさなど忌憚のないところを気軽に執筆いただいて、役立つ“How to book”としての「技術篇」の編集を試みた。

内容は、第1集「基礎篇」および第2集「装置篇」と関連をもたせつつ、ビーム技術、散乱実験技術、信号検出技術、データ処理技術、真空技術、及び関連技術の6項目に分類し、さらに各項目は、幾分フォーマルな体裁をととのえた「概説」と全くインフォーマルな「〇〇技術あれこれ」の項からなっている。前者は、これからの分野の研究を始めようとする利用者の便に供するものであり、後者は、ノウハウ、失敗談、苦心談、アイデア、応用实例、トピックス、見聞記など「一言メモ」的な記事を自由に掲載して、第1集及び第2集と相補的になるよう心がけたつもりである。併せてご利用いただければ幸いである。

最後に、規格化作業班の責任者として、ころよく図面を提供していただき、またご執筆いただいた方々に厚く御礼申し上げると同時に、編集のために一方ならぬご尽力をいただいた作業班の委員の方々に深く感謝の意を表する次第です。

昭和57年3月

蟻川 達 男

規格化作業班メンバー

高 柳 和 夫 (代表者 宇宙科学研)	蟻 川 達 男 (責任者 農工大工)
小 林 信 夫 (都 立 大 理)	近 藤 保 (東 大 理)
桜 井 捷 海 (東 大 教 養)	佐 藤 幸 紀 (東 北 大 科 研)
武 部 雅 汎 (東 北 大 工)	俵 博 之 (九 大 総 理 工)
土 屋 荘 次 (東 大 教 養)	鶴 淵 誠 二 (農 工 大 工)
西 村 文 男 (東工大原子炉研)	菱 沼 直 志 (東 大 教 養)
脇 谷 一 義 (上 智 大 理 工)	森 岡 弓 男 (筑 波 大 物 理)
中 村 宏 樹 (分 子 研)	

執筆者

浅 香 修 治 (京 大 理)	蟻 川 達 男 (農 工 大 工)
栗 屋 容 子 (理 研)	井 上 鋒 朋 (東 北 大 科 研)
井 上 雅 夫 (電 通 大 物 工)	飯 田 善 哉 (サ ン ク ス 株)
石 黒 敏 (接 着 剤 研)	石 田 晴 久 (東 大 計 算 セ ン タ ー)
石 丸 肇 (高 エ ネ ル ギ ー 研)	植 松 真 司 (東 大 理)
小 川 岩 雄 (立 大 理)	小 塩 高 文 (大 阪 市 大 原 研)
緒 方 准 一 (岡 山 理 大)	織 田 暢 夫 (東 工 大 原 子 炉 研)
大 島 茂 (東 大 理)	大 谷 俊 介 (名 大 プ ラ ズ マ 研)
岡 野 純 (阪 大 教 養)	奥 野 和 彦 (都 立 大 理)
片 山 武 司 (東 大 核 研)	金 子 洋 三 郎 (都 立 大 理)
北 重 公 (東 北 大 科 研)	日 下 部 俊 男 (近 畿 大 理 工)
植 勲 (東 北 大 科 研)	朽 津 耕 三 (東 大 理)
熊 谷 秀 和 (理 研)	黒 木 健 郎 (東 工 大 原 子 炉 研)
小 林 信 夫 (都 立 大 理)	小 谷 野 猪 之 助 (分 子 研)
近 藤 保 (東 大 理)	坂 奥 喜 一 郎 (農 工 大 工)
向 坂 正 勝 (京 大 工)	佐 藤 幸 紀 (東 北 大 科 研)

佐 藤 義 之 (東 北 大 工)	清 水 忠 雄 (東 大 理)
末 岡 修 (東 大 教 養)	鈴 木 薫 (東 大 理)
鈴 木 皇 (上 智 大 理 工)	鈴 木 洋 (上 智 大 理 工)
平 良 哲 二 (東 大 工)	武 部 雅 汎 (東 北 大 工)
田 中 大 (上 智 大 理 工)	田 中 健 一 郎 (分 子 研)
田 中 治 郎 (高 エ ネ ル ギ ー 研)	俵 博 之 (九 大 総 理 工)
辻 泰 (東 大 生 研)	土 屋 正 彦 (東 大 工)
鶴 淵 誠 二 (農 工 大 工)	富 家 和 雄 (高 エ ネ ル ギ ー 研)
中 島 常 雄 (コ ニ シ 株)	中 塚 宏 樹 (京 大 理)
中 村 正 年 (筑 波 大 物)	長 井 宣 男 (京 大 工)
永 田 敬 (東 大 理)	波 岡 武 (東 北 大 科 研)
西 村 文 男 (東 工 大 原 子 炉 研)	野 瀬 直 樹 (京 大 理)
旗 野 嘉 彦 (東 工 大 理)	花 木 博 文 (京 大 工)
菱 沼 直 志 (東 大 教 養)	月 出 章 (理 研)
藤 田 順 治 (名 大 プ ラ ズ マ 研)	堀 越 源 一 (高 エ ネ ル ギ ー 研)
本 間 健 二 (東 大 教 養)	前 田 浩 五 郎 (電 総 研)
松 岡 正 浩 (京 大 理)	松 永 大 輔 (上 智 大 理 工)
三 谷 七 郎 (大 阪 市 大 原 研)	見 附 孝 一 郎 (東 大 理)
森 一 夫 (理 研)	森 岡 弓 男 (筑 波 大 物)
矢 島 達 夫 (東 大 物 性 研)	柳 下 明 (理 研)
山 田 啓 文 (京 大 理)	脇 谷 一 義 (上 智 大 理 工)
渡 部 力 (東 大 工)	

目 次

序 文	i
1. ビーム技術	
1.1 概 説	
(1) 電子ビーム	1
(2) イオンビーム	3
(3) 中性粒子ビーム	6
(4) 高励起種ビーム源	7
(5) 光ビーム	8
(6) 特殊ビーム	10
① 陽電子ビーム	10
② 偏極原子ビーム	11
③ クラスタービーム	12
1.2 ビーム技術あれこれ	
(1) 低エネルギー電子源はどこがむずかしいか	13
(2) 偏極電子源心得	15
(3) ビームの状態選択はこうして行う	16
(4) 六極磁石の効用は何か	18
(5) 高分解能イオンビームを作るコツ	18
(6) 加速器からのビームを上手に使うには	19
(7) 低エネルギー陽電子源ノーハウ	21
(8) 負イオンのビームを得るには	22
(9) イオン源に高周波マスフィルターを使うと	23
(10) なんでもSOR?	25
(11) ピコ秒光パルスの特徴と発生法	26

2. 散乱実験技術

2.1 概 説

(1) 衝突室法	27
(2) ビーム交差法	28
(3) ビーム合流法	30
(4) 移動管法	31
(5) スウォーム法	32
(6) その他の方法	33
① フローイング・アフターグロー法	33
② フーリエ変換質量分析	34

2.2 散乱実験技術あれこれ

(1) 衝突セル内の圧力はこうして測る	35
(2) ターゲットガスの不純物をチェックする一方法	36
(3) 入射電流と標的ガス圧力の変動を自動補正する便利な方法	37
(4) 微分断面積測定のための心得	37
(5) 高分解能イオン分光のキーポイント	41
(6) エネルギー較正によいガス悪いガス	42
(7) 光学的励起断面積の絶対測定用光源	43
(8) 電子のエネルギー値較正	44
(9) ビーム交差は 90° だけが能ではない	45
(10) 混合ガスを使うときは注意が肝心	47
(11) 衝突で生じる分解原子分子に注意	48
(12) データの背後にいる "ホシ" を追へ	48
(13) 移動管法を使いこなす	52
(14) ビームガイドの上手な使い方	53
(15) ズームレンズを上手に使うと	54
(16) フォトンエコーを原子衝突に使うと	55

3. 信号検出技術

3.1 概 説

(1) 同時計数法	59
(2) 飛行時間計測法	60
(3) 粒子検出器	61
① 荷電粒子の検出	61
② 中性粒子の検出	62
③ 励起原子の検出	64
④ 各種電子増倍管	65

3.2 信号検出技術あれこれ

(1) 到着時刻に収束性のある飛行時間計測法	69
(2) エネルギーゼロの電子の測り方	70
(3) 赤外線検出器で中性粒子を測る	71
(4) 表面電離の感度を上げるには	72
(5) 原子線検出器 WO と ZnO	73
(6) X線位置感応型比例計数管	74
(7) MCPの適用限界は何か	76
(8) MCPをポジションセンシティブにするには	77
(9) MCPの出力波高分布に注意	79
(10) イオンの価数によってもMCPの感度は異なる	79
(11) MCPの感度を部分的に劣化させてしまったとき	81
(12) 写真測定と光電測定	82
(13) 回折格子の効率測定	83
(14) ピコ秒光パルスはこうして測る	84
(15) レーザーの非線形分光法	84

4. データ処理技術

4.1 概 説

(1) データ処理システムの構成	86
(2) マイクロコンピュータの利用形態	87
(3) データ処理装置に必要な機能	88
(4) データ処理装置の機能要素	89
① CPU(プロセッサ・ユニット)	89
② 記憶装置	91
③ バス	93
④ インターフェース	94
⑤ 外部機器	95

4.2 データ処理技術あれこれ

(1) マイコンはここまできた	96
(2) 繰えらび失敗談	98
(3) (e, 2e)実験用データ・アキュイジション・システム	98
(4) ステップスキャン方式の実験へのパーソナルコンピュータの応用	102
(5) メモリーはどれだけあればよいか	103
(6) シングルボード・マイコンと機械語の話	104
(7) 診断プログラム利用のすすめ	104
(8) アダマール変換によるデータ処理	105
(9) 配線にはラッピングが	109

5. 真空技術

5.1 概 説

(1) 真空ポンプ	111
(2) 超高真空フランジ及びガスケット	112
(3) 真空度測定	113

5.2 真空技術あれこれ

(1) 超高真空容器はアルミ合金に限る	114
(2) 超高真空フランジの締め方	116
(3) 超高真空の機能を持った同軸・多極真空端子	117
(4) 油拡散ポンプに液体窒素トラップは不要	119
(5) 固体型の oil trap	120
(6) 真空に良いガス・悪いガス	120
(7) バラトロンならし	121
(8) 非平衡真空を測るバクスコープ	122
(9) ガス圧(真空)の制御	122
(10) 終夜運転あの手この手	124

6. 関連技術

6.1 概 説

(1) 加速器技術	125
① シンクロトロン放射光用ストレージリング	125
② 電子線形加速器	126
③ 静電加速器	127
④ 高周波四重極(RFQ)ライナック	129
(2) プラズマ計測技術	130
① ビームプローブ	130
② プラズマ分光(分光器の選び方を主として)	132
(3) 薄膜の作製技術	133
(4) 接着技術	136
① 真空用接着剤	136
② 耐熱性接着剤	138

6.2 関連実験技術あれこれ

(1) 質量分析こぼれ話	140
--------------	-----

(2) SIMS により測定された同位体比の時間的変動	141
(3) 新しい技術、液体イオン化法	142
(4) クラスタイオンの変った生成法	143
(5) 光センサを上手に使うと	144
(6) Δμεταλλική Έπιβάλληση	145
基礎篇目次	147
装置篇目次	150

1. ビーム技術

1.1 概 説

(1) 電子ビーム

電子ビームは、ブラウン管・陰極線管・イメージコンバータ・電子顕微鏡・電子回折装置・電子ビーム加工装置など、いろいろの機器に応用され、その目的に応じてビーム源の設計技術が高度に発達している。電子衝突実験に使う電子ビーム源の設計には、電子工学分野で開発された電子銃と電子レンズの知識がたいへん役立つので、われわれもこれをよくまとめて知っておくことが望ましい¹⁾。

ここでは主として電子衝突分光法(エネルギー損失スペクトルを測る実験)に使われる、エネルギーの揃った平行電子ビームの生成法についていくつか述べる。

単エネルギー電子ビームを得るには、電子銃から得たビームをふつう静電偏向式分析器を使ってエネルギー選別し、望みのエネルギーに加速して平行ビームとして衝突領域へ送り込む²⁾。これにはまず、電子銃から良質のビームをとり出すことが大切である。また、場合によっては選別器なしで満足できることもあろう。

1. 電子銃から出てくる電子ビームのエネルギーの拡がり

陰極から空間電荷制限を受けながら引き出される弱い電流では、エネルギーの拡がり陰極の温度によってだいたい決まる。温度を 1500 °K とすると半値幅は 0.3eV 程度のはずである。しかし、実際の電子銃から出るビームのエネルギー半値幅は、せいぜい 0.5~0.6 eV であり、電流を沢山とろうとするほど幅は拡がる。この現象は研究者の間ではよく知られており、anomalous electron energy spread とか Raether 効果³⁾ などと呼ばれ、いくらかの研究論文の対象になっている。例えば、陰極とグリッド孔との間の空間に生ずるプラズマ振動によるものとした議論もある⁴⁾。

筆者は、エネルギー幅について不思議な経験をしたことがある。タングステン・ヘアピン形フィラメントをもつ電子銃で、ある時フィラメントを張りかえた後、フィラメント電流を流したがビームが出てこない。フィラメントがよほど曲って付いてしまったか、どうせまた張りかえるのだから切れてもともとと思い、定格の 2 倍近くのパワーを入れてみた。ふつう得られる電流よりやや少なめだが 10 μA 程度のビームが得られた。静電式半球形のエネルギー分析器で散乱ピークを測ってみると、驚いたことにふつうエネルギー選別器を通してやっと 0.1 μA 程度がとれる時と同じ程度の狭い半値幅 0.2eV 弱を示すではないか。分解能がこれだけあれば、ふつうの分子の振動単位を一応分離できるし、電流は 2 桁も大きいのでたいへん使い易い。こうなった原因をいろいろ考えた。フィラメントの先端がグリッド孔から外れているため、ビームが軸から外れて射出し、電子レンズの偏向電極がエ