

## 2 MeV ワイン・デ・グラフによる固体内粒子衝突現象の研究

名大・工 (伊藤研) 森田健治, 松波紀明, 鷗飼哲志, 光嶋康一, 坪内和俊, 伊藤憲昭  
 (岩間研) 岩間義郎, 水谷亨一郎, 宮田裕之

2 MeV Van de Graaffは固体内における粒子衝突(蛍光 X線測定による重イオン照射に伴う内殻電離, 再結合発光測定による重イオン照射に伴う結晶原子の励起等)に関する研究及びそれらを用いた物性研究に有用である。本稿では, 従来の光吸収等の方法だけでは明らかにできず, 固体内粒子衝突現象の1つである後方散乱や後方散乱におけるイオンチャネリング効果を用いることにより始めて可能となった物性研究の2, 3の例を紹介する。即ち  $MnBi$ ,  $MnSb$  などの化合物薄膜の生成過程及びアルカリハライド結晶内の不純物の格子位置や格子欠陥構造の研究について述べる。

まず岩間研究室のグループが行った化合物薄膜の生成過程の研究について述べる。 $Bi$ 及び $Sb$ 薄膜上に $Mn$ を蒸着した試料の種々の焼鈍温度について, 基板薄膜内に拡散する $Mn$ 原子の分布を $\alpha$ 粒子の後方散乱を用いて測定した。図1に示す如く, 蒸着直後の試料からの散乱 $\alpha$ 粒子のエネルギー・スペクトルは $Mn$ 及び $Bi$ 原子による散乱から生じた2つの分離したパルス形(点線)をしている。(2)(3)(4)(5)(6)のスペクトルから焼鈍温度の上昇と共に $Bi$ に対するエネルギー・スペクトルの高エネルギー側の edge が徐々に増加しているが,  $Mn$ に対するスペクトルの低エネルギー側は  $165^{\circ}C$  で急激に  $1.0 MeV$  まで減少し, その散乱イールドが徐々に増加していることがわかる。これらの結果は  $Mn$  の  $Bi$  内への拡散は,  $Mn$  原子が急速に  $Bi$  内部まで拡がり, 温度上昇と共にその割合が増加していること, 又  $Bi$  の  $Mn$  内への拡散は,  $Bi$  の interface が  $Mn$  内へ徐々に拡がっていくことを示している。 $Sb : Mn$  に対する測定結果は両方の拡散が  $Bi$  の  $Mn$  内への拡散と同様であることを示している。これら後方散乱測定の結果は Kery 効果・顕微鏡観察の結果とも対応していて,  $MnBi$ ,  $MnSb$  の化合物薄膜の生成過程に著しい相違があることが判明した。

次に伊藤研究室のグループがイオンチャネリングを用いて行った  $KCl$  中の  $Rb^{+}$ ,  $Pb^{+}$  不純物の位置決定及び  $KBr$  中の  $V_K$  中心の構造決定について述べる。入射イオンが単結晶の低指数方向と平行である時, チャネリング効果により散乱イールドが, 全く平行でない場合のイールドの約  $1/2$  に減少する。このことはチャネリング効果により, イオンは格子原子とは殆んど衝突せず逆に格子間位置にある原子と衝突する確率が大きくなること, 即ち入射イオンの結晶軸に対する後方散乱イールドの角度依存性の測定から格子間原子の位置の情報が得られることを示している(チャネリング効果と相反する"ブロッキング効果", 即ち散乱イールドの散乱角依存性を測定しても

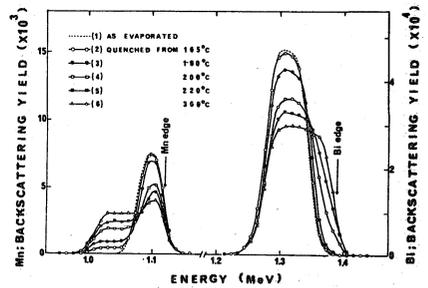


図1. 種々の温度から焼鈍した  $MnBi$  薄膜からの後方散乱 $\alpha$ 粒子のエネルギー・スペクトル。 $Mn$ 及び  $Bi$  edge は表面にある  $Mn$  及び  $Bi$  から散乱された粒子のエネルギー。

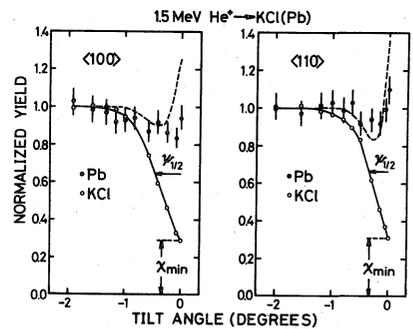


図2.  $KCl : Pb$  結晶に対する  $15 MeV He^{+}$  粒子の後方散乱イールドの入射角依存性。点線は連続接近近似による計算値。

同様である)。KCl:Rb<sup>+</sup>, KCl:Pb<sup>2+</sup>の試料に対して、種々の入射角において散乱イオンのエネルギースペクトルを測定し、図2に示す如く、散乱イオンの散乱角度性を得た。図2のKCl:Pb<sup>2+</sup>に対する結果は<100>軸、<110>軸において、不純物Pb<sup>2+</sup>からの散乱イオンの散乱角度性が母体KClからのそれと著しく異なり、イオンの入射方向が結晶軸と完全に平行である時、特徴的なflux peakを示して、不純物Pb<sup>2+</sup>が格子間位置にあることを示している。不純物Pb<sup>2+</sup>が面心位置にあると仮定して、連続体近似に基づいた計算結果(点線)は実験結果と割合よく一致している。又KCl:Rb<sup>+</sup>に対する結果は、不純物Rb<sup>+</sup>からの散乱イオンの散乱角度性が母体KClからのそれと全く一致していること、即ち不純物Rb<sup>+</sup>は格子位置にあることを示している。放射線によりアルカリハライド結晶内に生成されたフレンケル欠陥対のハロゲン格子間原子は不純物により安定化されることが光吸収などの測定から知られている。従って本実験の結果は、始め格子位置にあったPb<sup>2+</sup>イオンは面心位置にづれてフレンケル欠陥対のCl原子を安定化し、イオン半径の大きいRb<sup>+</sup>不純物は格子欠陥を安定化しないと考えられる。

KBr結晶中のV<sub>4</sub>中心を形成する格子間原子の位置、即ちV<sub>4</sub>中心の構造の決定には格子間原子Brが母体と同種であり、又格子欠陥濃度が高ま<sup>10</sup>程度である為上述の普通のチャンネルリング法は適用できない。そこで格子を形成する母体原子からの散乱イオンの強度を減少させ、格子間原子からのそれを増加させる為入射イオンを低指数方向<110>に完全に平行に保ち(チャンネルリングさせ)、低指数方向<100>における散乱イオンの散乱角依存(ブロッッキング)を測定する二重チャンネルリング法を用いた。この為母体結晶からの散乱イオンの強度はチャンネルリング効果により $\sim \frac{1}{5}$ に、又ブロッッキング効果により更に $\sim \frac{1}{5}$ に減少し、格子間原子からの強度の測定が可能である。液体窒素温度のKBr結晶の<100>ブロッッキング方向の実験結果を図3に示す。散乱イオン測定にセルロイドフィルムを用いた為生じた10%の相対誤差を考慮に入れても中央にflux peakが現われていることがわかる。flux peakの値が大きいこと及び幅がブロッッキング角の約 $\frac{1}{2}$ であることは格子間原子Brは体心位置から少しずれた位置にあることを示している。同条件において照射したKBr試料の光吸収測定の結果は、結晶内に生成した格子欠陥は相補的なフレンケル対のF中心及びV<sub>4</sub>中心であることを示している。又V<sub>4</sub>中心は<100>方向の対称性を有するBr<sub>2</sub>分子であることが報告されている。従ってその結晶内の構造は図4の様になっていると考えられる。この構造はWhiteらが理論計算から提唱している安定なV<sub>4</sub>中心のモデルを支持している。以上の様にイオン後方散乱やイオンチャンネルリングは物性研究の手段として有用である。このチャンネルリング効果を結晶表面において起こさせる表面チャンネルリングの研究が、最近盛んになりつつある。この表面チャンネルリングはイオンが表面数層の原子から散乱されることを示し、結晶表面数層における表面欠陥及び表面不純物の濃度やその構造に関する知見を得るのに有用な手段になると期待出来る。その他、蛍光測定、X線測定によって重イオン露跡近傍の高密度電離状態の研究、入射イオンの電子状態及び媒質との相互作用についての知見が得られるものと期待出来る。

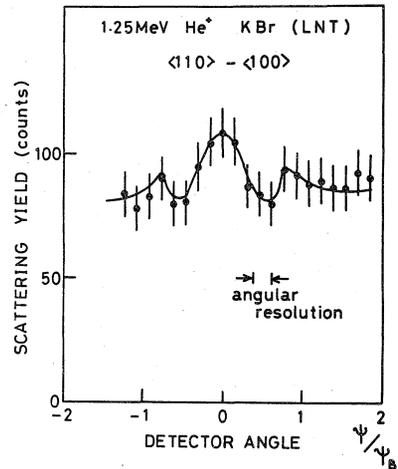


図3. KBr結晶に対する1.25 MeVの粒子の後方散乱イオンの散乱角依存。入射方向は<110>軸は平行であり、散乱方向は<100>軸である。

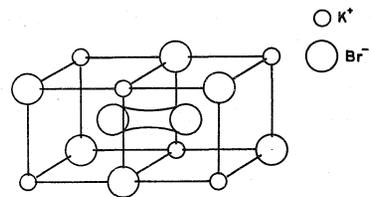


図4. 二重チャンネルリング法による実験結果から得られたV<sub>4</sub>中心の構造。