

Title	低温における半導体の放射線損傷
Author(s)	齊藤, 晴男
Citation	大阪大学低温センターだより. 12 P.1-P.2
Issue Date	1975-10
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/8260
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

低温における半導体の放射線損傷

教養部 斉藤 晴男 (豊中 2747)

高いエネルギーの放射線を結晶に照射すると、その中に格子欠陥が生じて種々の性質が変化する。これがいわゆる放射線損傷である。

今から約25年前にはじめて半導体の放射線損傷の実験が行なわれたのは、ゲルマニウムやシリコンのようなダイヤモンド構造をもつ半導体結晶が構造敏感で格子欠陥の研究材料として適していたからであろう。しかし、研究が進むにつれて、この研究から得られた知識が予想以上に固体全般の格子欠陥の理解に役立つことがわかってきた。また、実際的な応用面からの要請もあって、この分野の研究は理学・工学の両面にわたって広く行なわれるようになった。

放射線照射によって欠陥が生じる過程は放射線の粒子と原子との衝突として取り扱うことができる。γ線照射の場合にはコンプトン電子が粒子として作用する。格子位置にいる原子に与えられた機械的エネルギーがその原子を格子位置からたたき出すのに必要な値よりも大きければ、その原子は附近の格子間に割り込んで格子となりあとに格子空孔を残す。

さて、研究がはじまった当初の“古きよき時代”には放射線損傷はこの格子空孔と格子間原子によって説明できるものと信じられた。

そこで照射した結晶についてこれらの格子欠陥のもつエネルギー準位を測定し理論と対比する努力が行なわれた。しかし、1960年頃になって事情はそれ程簡単でないことがわかってきた。上記の格子空孔などは測定温度(当時はふつう77K以上であった)ではすでに不純物原子と複合欠陥を形成していることが明らかにされた。これらの進歩はシリコン中の格子空孔や複合欠陥がワトキンスによりESRで同定できたことに依存している。例えば、格子空孔はn型では約80K、p型では約160Kまでしか存在しないこともわかった。むかし信じられたように格子空孔や格子間原子が結晶中で生き残っているのは低温に限られるらしいということになった。

このようにして格子空孔については存在できる温度範囲がわかったが、同時に生成される筈の格子間原子の行方はその後も数年間は謎に包まれたまゝであった。1964年になって、上記のワトキンスが次のような奇妙な現象を発見した。3族の元素をアクセプターとして含むp型のシリコンに4.2Kで1.5MeVの電子線を照射したところ、今まで格子位置に入っていたアクセプター原子が何者かに追い出されて格子間原子となり、しかもその数は照射により生じた格子空孔の数に等しかった。この観測結果を説明するため提出されたモデルはラディカルで次のようなものであった。液体ヘリウム温度に於てもシリコンの格子間原子は結晶中を自由移動して不純物原子の位置にまで達する。

そこで格子間原子は不純物原子と位置を交換して不純物原子を格子間に押し出し、その代りに自分が格子位置に入る。このようにして出来た不純物の格子間原子は室温以上まで安全である。その後の研究の結果、この3族不純物が格子間原子を捕獲する作用は強く距離にして約200Åの範囲に及ぶらしいこともわかった。ほんとうに格子間原子は原子間距離の100倍にも相当する長い距離を極低温で動くのであろうか?しかし残念なことこの発見から10年も経つのにESR以外の方法でこの現象を確認した例はない。

1970年代になって、イリノイのケーラーのグループが一種の電気伝導度による実験を試みた。極

低温では半導体のキャリアは凍結されて直流の伝導度ははかりにくい。そこで試料としてドナー・アクセプター両方を含む（濃度は等しくなり）シリコン結晶を用いる。これに交流の電場をかけるとイオン化している不純物原子と中性の不純物原子との間で電荷のやりとりが起り、この分極による交流が流れる。これが a.c. hopping conductivity である。この量が放射線損傷の尺度として使えることは実験で確かめられたが、これによる実験では電子線照射した試料に対して 0.5 K ~ 室温の範囲でさしたる焼鈍ステージはみつからなかったのである。それでは格子間原子の移動は 0.5 K 以下でんでいることになる。しかし、このような低温での移動は熱的に起るものとは考えにくい。そこでワトキンスやケラーは電子線の照射下ではそのイオン化作用のため格子間原子の荷電状態が時々刻々に変化し、それによって格子間原子が移動するようなモデルを推論した。

それなら、電子線よりイオン化作用の少ない中性線の照射で生じた格子間原子はある温度までは安定に存在するのではなからうか。これに関する実験の結果として筆者らのグループで得られたグラフを図に示している。これはゲルマニウム結晶に液体ヘリウム温度で速中性子線照射を行い、その後等時焼鈍を行なったもので 4.2 ~ 15 K の温度に焼鈍ステージがあるようにみえる。30 K 以上で曲線が上向になるのは既知の 35 K ステージによる。また、この低温でのステージが格子間原子と結びつけられる確証はない。しかし、もしほんとうにこの附近に焼鈍ステージがあるものなら、これはあまり複雑な過程でないこともほぼ確かであろう。はやくこの現象について鮮明したいものと思っているが、種々の実験技術的な難点があり思うにまかせないでいる。諸兄の御指導を得て研究を進めたいものと願っている。

