

氏名	槌本尚 つちもと たかし
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第227号
学位授与の日付	昭和43年9月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	FUNDAMENTAL RESEARCH ON THE IMPLANTATION OF BORON AND PHOSPHORUS IONS (ボロンおよびリンイオン打込みに関する基礎的研究)

論文調査委員 (主査) 教授 向坂正勝 教授 清水 栄 教授 兵藤知典

論文内容の要旨

この論文は、重イオンを加速して試料に打込む方法即ちイオン・インプランテーションのうち、とくにボロンおよびリンイオンに関する基礎研究を述べたもので、6章よりなっている。

第1章は緒言である。最近重イオンの工業的利用がいくつかの分野で着目されているが、このうち重イオンを加速して半導体に打込み不純物添加を行なう方法は、従来の拡散法に代る新技術として有望であることを述べ、そのためには50ないし350keVのイオンエネルギーの領域での基礎研究が極めて重要であることを強調している。従って著者は、半導体不純物の代表的元素であるボロンおよびリンを取上げ、イオンの生成と加速、エネルギーと飛程の関係、イオン打込み技術、本方法で製作したダイオードやトランジスタの特性などの研究を行なう旨説明している。

第2章は重イオンビームの発生と加速に関する研究を述べたものである。従来の加速器は電子や水素、ヘリウムの軽いイオンの加速を目的としているが、ボロンやリンのイオンを発生し加速するに当たっては、いくつかの理由で従来方式が必ずしもそのまま適用できないことを詳しく研究している。その大きな原因の1つは、使用するイオン源ガスが放電により分解して装置を汚染することであり、従って簡単に分解組立てができる機構を考案して装置主要部に採用している。即ちイオン源として小型のデュオプラズマトロンを、また加速管としてノックオン式多段型のもを作っており、さらにイオン源ガスとしていくつかの試料を試験した結果、新しくジボラン (B_2H_6) とフォスフィン (PH_3) を採用している。ただし両ガスとも爆発性と毒性とがあるため、これらをアルゴンガスで1%に希釈し、また空気中に放出するときの無毒化に対する慎重な実験を行なって充分実用に耐えるよう工夫している。加速器として最高500KV発生のコッククロフト・ワルトン型を使用し、イオンビームを磁場で分析した後、0.1ないし0.01 μ Aの安全なボロンおよびリンのイオンを得ている。なおイオン照射を受ける試料は約200°Cに加熱してポンプ油の分解付着を防止できたことを認めている。

第3章は重イオンのエネルギーと飛程に関する研究である。まずリンハード他の理論を詳細に検討し、こ

れをシリコンおよびゲルマニウム中のボロンおよびリンイオンに適用してエネルギーと飛程の関係曲線を求めている。ついで飛程のに尖端おける打込みイオンの分布が、イオン量に対してどのように変わるかを調べている。

さてシリコンに不純物を添加するときその種類によってPNの接合層ができるが、この面をフッ酸と硝酸の混合液に浸して強い光を当てると、P層のみが着色し従って接合部分が識別できる(ステニング法)。ゲルマニウムに対してはフッ酸と硫酸銅混合液を用いて同様に識別できる。そこでイオン打込みを受けた試料を1ないし3°斜め研磨した後このステニング法を適用すると、PN接合部の深さが求まり、さらにさきのイオン分布を考慮することによって打込みイオンの飛程が得られる。このようにして50~350 keVのボロンおよびリンイオンに対してシリコン中の飛程を測定し、また同程度のエネルギー領域でのゲルマニウム中の飛程も測っている。さらに本測定法を応用してこれらイオンのアルミニウム、クロム、ニッケルおよびモリブデン中での飛程を始めて実測しており、以上の各実験結果がリンハード理論と相当良い一致を示すことを報告している。

第4章ではイオン打込みに関する諸考察を述べている。イオン打込み法では従来の拡散法と異なりイオンが特定の深さにガウス分布をする。しかし實際上、工業上ではある深さまで一様分布させることを要求される場合が多い。このためにはイオンのエネルギーと打込み量とを順次変えることが必要で、その条件を満たす関係式を与えている。またシリコンやゲルマニウムのような結晶体にイオンを打込む場合に起るチャンネルリング現象、放射線損傷やスパッタリングについても検討し、その結果、今回の実験で打込まれたままのイオンは格子間に存在し、同時に多くの放射線損傷を起しているけれども、適当な熱焼鈍を加えることによってイオンを格子点に移すとともに損傷が回復することを推論している。また50~350 keVの高いエネルギーでは、試料が直接スパッタリングを起す現象は殆んどないであろうと述べている。

第5章ではイオン打込み法で製作したダイオードやトランジスタについて述べ、あわせて第4章での諸考察の裏付けを行なっている。まずダイオードでは、P或はN型シリコン基板にボロン或はリンを所定量打込んでPN接合を作り、この基板をフォトエッチング法でメサ型として多数のダイオード片を製作している。このダイオードにつき電圧-電流特性、電圧-容量特性を測定した結果、これが予想通り階段状接合層を持っており、熱焼鈍を加えると次第に放射線損傷が回復してくること、およそ800°C、100時間の焼鈍によって従来の拡散法ダイオードに比べて性能的に遜色のないものが作り得ることを報告している。さらにエミッタのみを打込み法で作ったトランジスタの特性をも測定している。ただしその性能はまだ充分とは言えず、この原因が大量イオンの打込みによる甚だしい損傷にあって、さきのダイオードと同様な焼鈍条件では回復が不充分であることによると推論している。

第6章は以上の結果を総括したものである。

論文審査の結果の要旨

最近重イオンの工学的利用が多くの分野で着目されているが、このうち重イオンを加速して試料に打込む方法は極めて広い応用が期待される。とくに半導体に対して不純物イオンを打込む技術は、従来の拡散法に代るものとして有望視されているけれども、多くの基礎データが不足しており、また解決しなければ

ならぬ問題点が少なくない。本論文は、シリコンおよびゲルマニウムを試料としてこれにボロンおよびリンイオンを打込む技術に関連した基礎研究を報告したもので、多くの新しい技術や知見を述べているが、その代表的なものをあげると次のとおりである。

第1は重イオンの加速に関する技術である。従来加速器とは、電子や水素、ヘリウムの軽いイオンの加速を目的として作られ優れた性能を発揮しているが、重イオンを加速するに当たっては技術的問題が極めて多く、今までの加速器をそのまま使用することは困難である。とくにボロンやリンのような重イオンの場合には、適当なイオン源ガスが少なく、またこれが分解して装置を甚だしく汚染する欠点があった。これに対し著者は新しくジボラン (B_2H_6) およびフォスフィン (PH_3) を採用し、アルゴンガスで稀釈してその爆発性を押えるとともに、毒性除去に対しても慎重な実験を行なった上、除去装置を付加することによって充分実用に耐えるようにした。さらに汚染に対しては、簡単に分解できる小型デュオプラズマトロンイオン源およびノックオン式多段加速管を考案し、汚染場所を局限するとともに、汚染除去に要する時間を大幅に短縮するなど、重イオン加速に特有の支障防止に努めている。これらにより長時間0.1 μ A程度の安定なボロンおよびリンのイオンビームを得たことは貴重な成果である。

第2は重イオンのエネルギーと飛程に関する実験である。重イオンの飛程の測定は50~350 keV のエネルギー領域では極めて乏しく、またその方法も特別なラジオ・アイソトープを利用するなど適用範囲が局限されていた。これに対し著者は、打込みイオンによって作られた半導体のPN接合層を薬品と光で色分けするステニング法を採用し、上記エネルギー範囲のボロンおよびリンイオンの飛程を詳しく測定するとともに、これを応用してアルミニウム、クロム、ニッケル、モリブデン中の飛程をも測定し、その結果はいずれもリンハードの理論と良い一致を示すことを認めている。本方法は一般固体元素における重イオンの飛程の測定にも適用できる極めて有用なものである。

第3はイオン打込み法で製作したダイオードに関するものである。著者は200 keV のボロン或はリンイオンを所定量シリコン基板に打込んだ後、焼鈍を加え、さらにメサ法によって多数のダイオード片を作った。これらの電圧—電流、電圧—容量測定と焼鈍および打込み条件から、打込み時に生じた放射線損傷の消滅、イオンの結晶内での転移状況を解明し、最終的に従来の拡散法ダイオードに比べて性能上遜色がなく、かつステップ状接合層をもったダイオードを製作している。この実験はイオン打込みの工業化に対する基本問題を解決したものであり、重要な成果である。

以上要するに本論文は、重イオンの打込み技術を半導体工業に応用するべく技術的問題を順次解決するとともに、必要な基礎研究を集積したものであって、この間多くの新しい知見を得ており、学術上工業上寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。