

Title	Internal Stark Effect Caused by Inhomogeneous Distribution of Ionized Impurities in Highly Compensated Semiconductors
Author(s)	Harada, Yoshiyuki
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3100504">https://doi.org/10.11501/3100504</a>
DOI	10.11501/3100504
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	原 田 義 之 はら だ よし ゆき
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 11722 号
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Internal Stark Effect Caused by Inhomogeneous Distribution of Ionized Impurities in Highly Compensated Semiconductors (高補償度半導体におけるイオン化不純物の不均一分布による内部 Stark 効果)
論文審査委員	(主査) 教授 大山 忠司  (副査) 教授 平田 光兒 教授 大貫 惇睦 助教授 中田 博保 助教授 松川 宏

### 論文内容の要旨

高い補償度をもつ半導体では、低温においては多くの不純物はイオン化している。このイオン化不純物の不均一な分布は半導体中に強い局所電場を生じ、中性不純物状態に大きな摂動を加える。このイオン化不純物の不均一な分布がつくる局所電場の影響を調べるため、補償度の大きな P 型の InSb と Ge 中の不純物によるゼーマン吸収線幅の広がりを観測し、系統的な取り扱いを行なった。

実験は遠赤外レーザー光を用いて、アクセプター不純物の遠赤外磁気光吸収を観測した。イオン化不純物濃度は試料に依存するが、バンドギャップに相当する光励起の強度によってもコントロールできる。また、パルス光励起下での励起後の遅延時間でも変化する。このように時間分解と励起強度依存性を中心として、吸収線幅がイオン化不純物の濃度に対してどのように依存するかを詳細に調べた。試料は補償度が 1 に近い P 型の InSb の他、中性子照射による元素変換によって不純物を添加した P 型の Ge を用意した。この Ge は不純物の分布がほぼ完全にランダムであることが期待でき、補償度も系統的に変えることが可能である。

InSb については、光励起直後からの吸収線の時間変化を追いかけると、吸収強度は減少してくる。これはドナー・アクセプター再結合過程によって中性不純物の数が減少することを示している。したがって、時間経過に伴ってイオン化不純物の数は増えてくるが、その過程における吸収線の幅の広がりを観測した。Ge については、光励起強度を減少させ、イオン化不純物の濃度を増加させ、それに伴う吸収線幅の広がりを観測した。

これらの吸収線幅の広がりはいずれもイオン化不純物のつくる不均一な内部電場による Stark 効果に原因があることがわかった。それぞれの中性不純物位置で感じる電場の大きさが場所ごとで異なるために吸収線が不均一広がりを生じていることによる。その線幅はイオン化不純物濃度  $N_i$  の  $4/3$  乗に比例することを初めて定量的に確認し、線幅の広がりを決めている原因が内部電場による 2 次 Stark 効果であることを明らかにした。

また、不均一な内部電場は不純物の初期分布に依存していることが期待される。 $N_i$  の  $4/3$  乗則はこの分布が完全にランダムであることを仮定して、解析的に導かれた結果である。さらに不均一な内部電場と半導体中での不純物の初期分布との関連を詳細に調べるために Monte Carlo 法を用いた理論的アプローチを試みた。完全にランダムな不純物の初期分布の下では電場の 2 乗分布の広がりが  $N_i$  の  $4/3$  乗依存性をもつという結果が得られ、中性子照射によって添加した Ge での不純物に関する実験結果とよく一致することがわかった。さらに、不純物の初期分布に相関がある場合には  $4/3$  乗依存性から大きくずれてくることを明らかにし、定性的裏づけも得られた。

結論として、高補償度半導体における不純物の分布に関して、不純物ゼーマン吸収の線幅に関する系統的な実験を行ない、これまでの解析的な理論との良い一致が得られた。さらに一步進んで、不純物の任意の初期分布に対する線幅の広がりを Monte Carlo 法により求めた。この Monte Carlo シミュレーションによる計算法の確立によって半導体中での不純物の様々な分布を探る新しい道を開いた。

#### 論文審査の結果の要旨

本論文は高い補償比を持つ半導体中に存在するイオン化不純物によって誘起される試料内電場によるスタルク効果を、不純物に関する遠赤外磁気光共鳴を通して実験的に観測し、理論に基づく解析および Monte Carlo シミュレーションによって実験結果を見事に再現したものである。とくに、外部からの光励起の強度や励起後の時間経過によって、イオン化不純物の濃度を制御し、イオン化不純物の不均一な分布に起因する共鳴線幅の広がりをイオン化不純物濃度の関数として求めることに成功した。また、Monte Carlo シミュレーションでは不純物の初期分布をいろいろと想定し、各々の場合における共鳴線幅の特徴を予測した。

この研究を通して得られた知見は、半導体に限らず今後このような系におけるイオン誘起電場を追求するうえで非常に重要で、博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。