



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	50keV Fe+をイオン注入したGaAsのDLTS
Author(s)	谷脇, 雅文; Taniwaki, Masafumi; 小出, 秀人 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 153, 115-119
Issue Date	1990-11-29
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/42257">https://hdl.handle.net/2115/42257</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	153_115-120.pdf



## 50 keV Fe<sup>+</sup> をイオン注入した GaAs の DLTS

谷脇 雅文 小出 秀人<sup>1</sup>  
吉田 博行<sup>2</sup> 林 禎彦<sup>2</sup>

(平成2年8月31日受理)

### Deep Level Transient Spectroscopy of 50 keV Fe-Ion Implanted GaAs

Masafumi TANIWAKI, Hideto KOIDE,  
Hiroyuki YOSHIDA and Yoshihiko HAYASHI

(Received August 31, 1990)

#### Abstract

The annealing process of 50 keV-Fe<sup>+</sup> implanted GaAs was studied by DLTS. Eight trapping states were detected and identified. Fe had strong interactions with the implantation-induced point defects. A new trapping state appeared by annealing at 400°C, and the trapping states by point defects increased simultaneously. This means that the created Fe-related structure increases the number of point defects trapping states. The structure probably causes the amorphization of heavily Fe<sup>+</sup>-implanted GaAs at 400°C.

#### 1. 序

筆者たちは、Sn および Fe イオン注入によって化合物半導体に形成される欠陥と、焼鈍に伴う欠陥の回復挙動を、透過電子顕微鏡によって研究してきた<sup>1-3)</sup>。遷移金属 Fe をイオン注入した場合、特異な組織変化が観察された<sup>2,3)</sup>。注入によって双晶が形成される。双晶の形成は、注入組織に強い歪が蓄えられた可能性を示す。さらにイオン注入することによって、双晶組織は非晶質に変わる。双晶の非晶質化は、また400°C程度の比較的低温の焼鈍によってもおきる。通常の n 型、p 型ドーパントを注入したときは、焼鈍すると下地に対して固相エピタキシャル成長する。筆者たちは、このちがいは、GaAs 中で Fe は n 型、p 型ドーパントと異なる結合をするため生じるのであろうと考えた。Si, Sn, Zn 等の n 型、p 型ドーパントはいわゆる四面体配位構造をとるが、Fe は通常、より大きい配位数をとる。そのため Fe がイオン注入された領域では、Fe が Ga あるいは As 原子（おそらく As 原子であろう）と結合し、GaAs の四面体配位構造をこわし、大きな歪がたまり、これを緩和するため原子面がずれ、双晶が形成される。焼鈍すると Fe 周辺の原子配列は四面体構造から大きくくずれ、結果として Fe イオンが注入された領域は結晶性を失って、非晶質になる。上に述べた実験結果とその解釈から、GaAs 中に注入された Fe は、Ga, As あるいは格

子欠陥と強い相互作用を行うことが予想される。それはまた注入された Fe が種々の捕獲準位をつくることを意味する。本研究では、DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) によって、Fe イオンを注入した GaAs の欠陥準位を検出しその回復挙動を追跡した。すでに行っている透過電子顕微鏡観察結果との対比を通して格子欠陥と捕獲準位の対応づけを行うとともに、注入および焼鈍による欠陥の挙動を明らかにすることを試みた。

## 2. 実 験

LEC (111)GaAs ウエハの表面を#6000アルミナ粉末で研磨した。水洗および超音波洗浄後、鏡面処理 ( $\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 1 : 1 : 3$ , その後水洗) した。煮沸したトリクレン, アセトン, エタノール洗浄し, 酸化膜エッチング (HCl 中数10秒) した。鏡面とは反対側の面に Ni-AuGe を蒸着し, 水素気流中で  $420^\circ\text{C}$ , 30分焼鈍しオーミック電極をつくった。このようにして作った試料鏡面に  $50\text{keV}$  Fe イオンを注入した。注入量は  $10^{10}\text{ions}/\text{cm}^2$  と  $10^{11}\text{ions}/\text{cm}^2$  の 2種類とした。注入したままの試料以外に,  $200, 300, 400^\circ\text{C}$  の各温度で30分間の熱処理を行ったものを作った。これらの試料の鏡面に Au ショットキーバリアーを蒸着した。ショットキー接合の特性を電流-電圧, 容量-電圧測定によって評価した後, DLTS 測定した。方形波パルス幅は  $10\text{msec}$ , 順バイアスを印加することによって測定領域 (深さ方向) をかえた。

## 3. 結 果

### A. $10^{10}\text{ions}/\text{cm}^2$ 注入試料の DLTS

$10^{10}\text{ions}/\text{cm}^2$  注入試料の DLTS の焼鈍による変化を, バイアス  $0.0\text{V}$  (表面近傍),  $-0.5\text{V}$  (やや深い領域),  $-1.0\text{V}$  (さらに深い領域) べつに, 図 1 に示す。深さ領域を注入した試料で見積ると, それぞれ  $20-90\text{nm}$ ,  $90-140\text{nm}$ ,  $140-180\text{nm}$  である。注入したままの試料には表面近傍, やや深い領域の両方の DLTS に P1, 2, 3, 4 の 4 個のピークが観察された。P1, 2, 4 のピークはノンドープ LEC-GaAs で観察されるものと同じであり, それぞれ EL12, EL6, EL2 である<sup>4)</sup>。P3 はノンドープ GaAs にはほとんど認められない。これはイオン注入によって形成されるピークであり, EL3 に相当する。現在のところ EL6 は As アンチサイト欠陥  $\text{As}_{\text{Ga}}$  の複合欠陥, EL3 は点欠

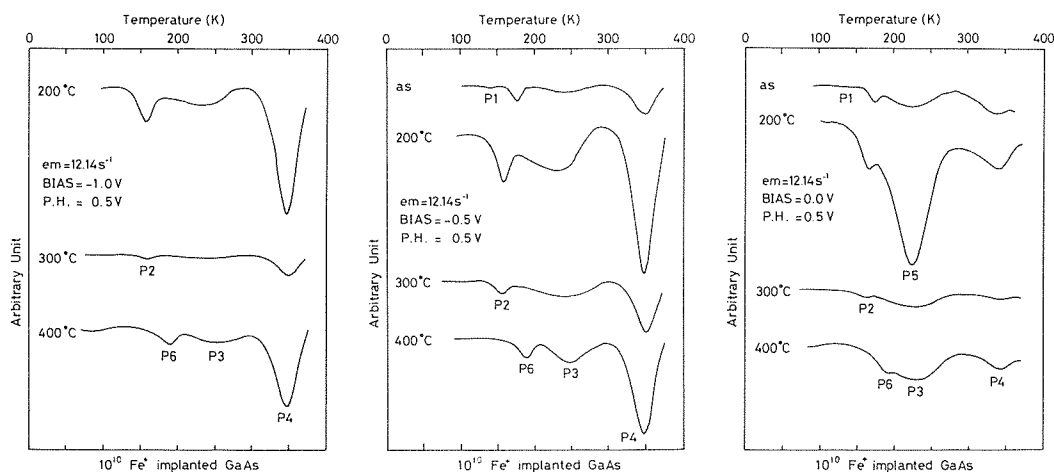


図 1  $10^{10}\text{ions}/\text{cm}^2$  注入した GaAs の DLTS (左からバイアス  $0.0\text{V}$ ,  $-0.5\text{V}$ ,  $-1.0\text{V}$ )

陥およびその集合体に起因するものと考えられている。EL2 はもっとも議論されてきたピークであるが、現在のところ、やはり、 $As_{Ga}$  の複合欠陥とする見方が有力である。P1, 2, 4ピークのエネルギー準位はそれぞれ0.25, 0.27, 0.85eV (伝導帯から)であった。

200°C焼鈍によってEL12は消滅し、P2, 3, 4ピーク強度は大きくなる。表面近傍では、“P3”ピークが大きいかつシングルピークに近いものになっている。このピークのトラップ密度は、 $5.9 \times 10^{14}/cm^3$ であり、焼鈍前の $8.4 \times 10^{13}/cm^3$ の7倍以上になっている。一般にEL3は単一の捕獲準位によるものより、ピーク幅が広く、各種点欠陥による捕獲準位の集合したものとみなされている。焼鈍前はP3ピークの幅は通常のEL3ピークと同様広がったので、焼鈍によってある点欠陥ピークだけが大きくなったものと考えられる。そこでこのピークをP5と置く。

300°C焼鈍によって、表面近傍のEL3ピークはふたたび幅が広がった。この捕獲準位密度は、注入したままのものと同程度であり、P5に相当する欠陥がもとおりの量になったものと考えられる。400°C焼鈍によってP2が消滅し190K付近に新しいピークP6が現れた。それとともにP3, 4ピークも大きくなった。

## B. $10^{11} ions/cm^2$ 注入試料の DLTS

$10^{11} ions/cm^2$  注入試料のDLTSの焼鈍による変化を、バイアス0.0V(表面近傍)、-0.5V(やや深い領域)、-1.0V(さらに深い領域)につに、図2に示す。注入したままの試料表面近傍には、P7 ( $E_T=0.12eV$ )、P8 ( $E_T=0.29eV$ )の二つのピークが観測される。深い領域では、P2およびP3ピークが見られる。特に点欠陥ピークであるP3が大きい。これは、注入量が多いため形成される点欠陥量が多いからであろう。表面領域のみに観察されるP7とP8はノンドープGaAsや $10^{10} ions/cm^2$ 注入試料では、明瞭に観察されなかったものであり、注入Fe原子に直接関係したものと考えられる。

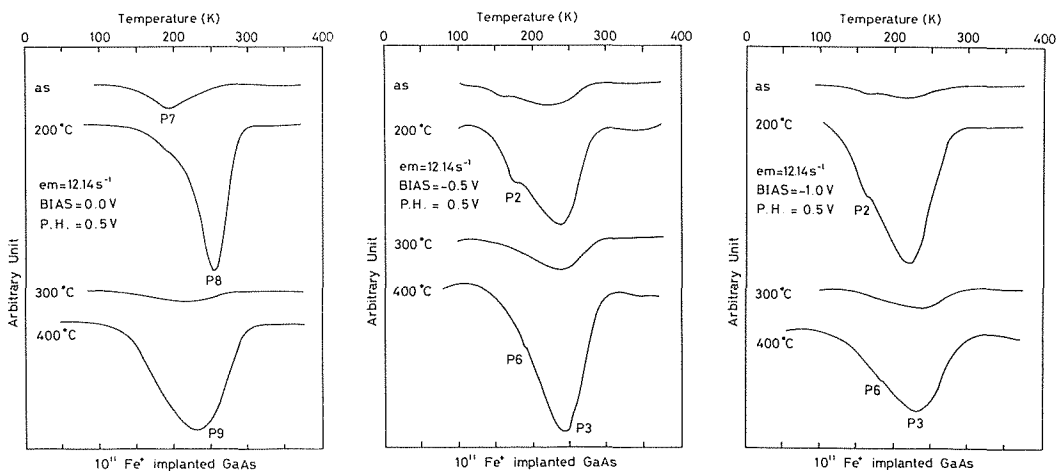


図2  $10^{11} ions/cm^2$  注入した GaAs の DLTS (左からバイアス 0.0V, -0.5V, -1.0V)

200°C焼鈍した試料の表面領域の DLTS スペクトルでは、P7ピークの強度はあまり変わらないが、P8強度が大きく増加している。この捕獲準位密度は、 $2.9 \times 10^{10}/\text{cm}^2$ である。深いところの欠陥密度も大きくなっている。300°C焼鈍によって、すべてのピーク成分が減少した。表面領域の P7, P8 が大きく減少し、深い領域の P3 は小さくなり、P2 は消滅している。400°C焼鈍によって欠陥量は、再び増加している。表面領域では非常に幅の広いピーク P9 が観測され、深い領域でも P3 ピークの肩(190K 付近)に P9 成分が見られる。ピーク位置から考えて P9 は  $10^{10}$  ions/cm<sup>2</sup> で観測された P6 と同じものとみられる。

## 4. 考 察

### A. P2(EL6)と P4(EL2)

先に述べたように、このピーク、EL6 は As<sub>Ga</sub> に関するものと考えられているが<sup>5)</sup>、この研究で観測された焼鈍によるこのピークの変化からその真偽を確かめてみよう。イオン注入・焼鈍による P2 ピークの変化は、どちらの注入量に対しても、同じであった。200°C焼鈍で大きくなり300°Cで減少、400°Cでなくなる。Ga 空孔 V<sub>Ga</sub> は150°Cで移動し、As 空孔は240°Cで移動するとされている<sup>6)</sup>。とすると200°C焼鈍によって V<sub>Ga</sub> が集まって、As<sub>Ga</sub> を作りやすくするであろう。300°Cおよび400°C焼鈍すると、V<sub>As</sub> が移動して As<sub>Ga</sub> と合体しこれを消滅するであろう。これは観測された P2 すなわち EL6 の挙動であり、本研究の結果は EL6 が As<sub>Ga</sub> に関係した捕獲準位であることを支持している。P4 すなわち EL2 は  $10^{10}$  ions/cm<sup>2</sup> 注入した試料には、まだ観測されたが、 $10^{11}$  ions/cm<sup>2</sup> 注入した試料には観測されなかった。イオン注入によって EL2 が消滅することはすでに谷口と生駒によって報告されている<sup>7)</sup>。ショットキー障壁が低下 (0.65eV) すると EL2 が消滅するとする報告もあるが<sup>8, 9)</sup>、400°C焼鈍で障壁は、0.72eV に回復したけれど EL2 は復活していない。それゆえ、イオン注入による損傷によって EL2 は壊されたものと考えられよう。TRIM code<sup>10)</sup> による解析結果から、およそ  $10^{17}$  keV/cm<sup>3</sup> の損傷エネルギーで EL2 は消滅するものとみられる。

### B. P5 および P8

P5, P8 は Fe イオン注入試料以外には観測されない。P5 は  $10^{10}$  ions/cm<sup>2</sup> 注入試料で、P8 は  $10^{11}$  ions/cm<sup>2</sup> 試料で観測されたものであるが、類似点が多い。どちらのピークも200°C焼鈍で EL3 ピークのなかから、非常に大きく現れ、300°C焼鈍で急減する。エネルギー準位はややことなるが、ピーク幅は単一のものに近い。それ故、P5, P8 は Fe に関連したものであり、ともに起源を同じくするものとみられる。さきに述べたように200°Cの焼鈍で活発に移動するものは V<sub>Ga</sub> である。このような事情から P5, P8 は Fe と V<sub>Ga</sub> あるいは Fe と複数の V<sub>Ga</sub> が結合したものと考えることが自然である。表面領域で、P5, P8 の捕獲準位密度はそれぞれ  $5.9 \times 10^{14}$ ,  $2.9 \times 10^{15}/\text{cm}^3$  であり、それぞれ、Fe 濃度  $2 \times 10^{15}$ ,  $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  のほぼ、1/10程度であることも、これを支持している。

### C. P7

$10^{10}$  ions/cm<sup>2</sup> 試料や、深い領域の DLTS が、分離したいくつかのピーク成分からなっているのとは対照的に、 $10^{11}$  ions/cm<sup>2</sup> 注入試料表面の DLTS は、一本の P7 ピークのみを示している。ある程度欠陥量が多くなければ現れないことから、このピークは点欠陥の小さな集合体に起因するものである。注入したままの GaAs には格子間原子の集合体 (たとえば転位ループ) があらわれる。 $4 \times 10^{13}$ ,  $10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup> 注入した GaAs の電子顕微鏡写真から評価すると、 $10^{11}$  ions/cm<sup>2</sup> 注入試料の表面領域には、原子濃度として  $4 \times 10^{14}/\text{cm}^3$  の格子間原子集合体が形成されている。P7 の

捕獲準位密度 $4.9 \times 10^{14}/\text{cm}^3$  とほぼ等しい。

#### D. P6

Fe イオン注入 GaAs では、400°C焼鈍でふたたび P3 が大きくなるという、普通では、考えにくいことがおきた。同時にこの系以外にはみられない P6 ピークが現れている。透過電子顕微鏡研究で観察された焼鈍による非晶質化という特異な挙動<sup>2,3)</sup>と対応していることが示唆される。実際、焼鈍によって固相エピタキシャル成長する Sn イオン注入 GaAs の DLTS には、このようなことは起きなかった<sup>11)</sup>。400°Cでは Ga や As (Sn も) はほとんど拡散しないが、Fe は 15nm 程度は拡散できる。おそらく拡散によって Fe は Ga, As とともに短範囲の構造をつくり、その結果周囲の GaAs との間に格子欠陥をつくりだし、点欠陥集合体ピーク P3 を増加させたものであろう。P6 ピークは、この構造がつくる捕獲準位と考えられる。

## 4. 結 論

GaAs に Fe をイオン注入・焼鈍し、電子捕獲準位とその変化を、DLTS で追跡した。8 個の準位を検出し、その同定をおこなった。注入された Fe は、点欠陥および Ga, As と強い相互作用をおこなって、Fe イオン注入 GaAs の回復挙動を特異なものにしていることが示された。

## 参 考 文 献

- 1) M. Taniwaki, T. Yoshiie, H. Koide, M. Ichihashi, N. Yoshimoto, H. Yoshida and Y. Hayashi, J. Appl. Phys. **66** (1989) 161.
- 2) M. Taniwaki, H. Koide, T. Yoshiie, Y. Hayashi and H. Yoshida, J. Non-Crystalline Solids, **117/118** (1990) 745.
- 3) M. Taniwaki, H. Koide, N. Yoshimoto, T. Yoshiie, S. hnuki, M. Maeda and K. Sassa, J. Appl. Phys. **67** (1990) 4036.
- 4) Summary discussion by A. G. Milnes, Impurity and Defect Levels (Experimental) in Gallium Arsenide, in "Electronics and Electron Physics Vol.61" edited by P. W. Hawkes (Academic Press, New York, 1983) P76-91.
- 5) M. Levinson, Inst. Phys. Conf. Ser. No. 91 Cpaper 2 (1988) 73.
- 6) T. G. Finstad, S. L. Andersen and T. Olsen, Phys. Stat. Soli. A **25** (1974) 515.
- 7) M. Taniguchi and T. Ikoma, Inst. Phys. Conf. Ser. No. 65 Chapter 1 (1982) 65.
- 8) Q. Y. Ma, M. T. Schmidt, X. Wu, H. L. Evans and E. S. Young, J. Appl. Phys. **64** (1988) 2469.
- 9) 長谷川, 応用物理 **57** (1988) 97.
- 10) J. R. Biersack and L. G. Haggmark, Nucl. Instr. & Meth. **174** (1980) 257.
- 11) 吉本直人, 修士論文 (北海道大学, 1987年3月)