



琉球大学学術リポジトリ

University of the Ryukyus Repository

Title	変形バイメタルモデルによる拡散不純物表面濃度の決定
Author(s)	前濱, 剛廣; 宮里, 博明; 宮城, 洋一郎; 安富祖, 忠信
Citation	琉球大学工学部紀要(39): 87-97
Issue Date	1990-03
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/12448
Rights	

変形バイメタルモデルによる

拡散不純物表面濃度の決定

前 濱 剛 廣*, 宮 里 博 明**
宮 城 洋 一 郎***, 安 富 祖 忠 信*

Determination of Surface Concentration of
Diffused Impurity
by the Modified Bimetallic Model.

Takehiro MAEHAMA, Hiroaki MIYASATO,
Yoichiro MIYAGI, Chushin AFUSO

ABSTRACT

A new method for measuring the surface concentration of the diffused impurity atoms is proposed. Because of the lattice distortion due to the distribution of the diffused impurity atoms, the substrate crystal is warped like bimetals. The equations to calculate the warpage angle of the substrate crystal are derived. The surface concentration of the diffused impurity of the substrate is decided so that the value calculated by the equations fits in the measured value of the warpage angle.

The method was actually applied to {100} GaAs substrates in which Cd atoms had been diffused at 1000°C and 900°C respectively. The calculated values of the warpage angle of the substrate assuming the complementary error function for the Cd distribution are in good agreement with the experimental values. The Cd-surface concentrations diffused at 1000°C and 900°C were decided as 1.3×10^{19} and 2×10^{19} cm⁻³, respectively.

For the reduction of the warpage angle when the diffused layer was removed, the theoretical values were also in good agreement with the experimental values. From these facts, therefore, the validity of the assumption of the complementary error function for the Cd-distribution were confirmed.

Key Words: Diffusion, Surface concentration, Gallium arsenide, Cadmium, Warpage, X-ray double crystal method.

受付: 1989年10月31日, 本研究の内容は第50回応用物理学会学術講演会(1989年)で発表済

*工学部電気工学科 Dep. of Electrical Engineering, Fac. of Eng.

**工学部電子・情報工学科4年次学生 Undergraduate Student, Dep. of Electronics and Information Eng.

***大学院工学研究科電気情報工学専攻 Graduate Student, Electrical and Information Eng.

§ 1. はじめに

半導体プロセスにおいて不純物の拡散処理は一つの重要な技術であり、半導体デバイスの特性の良し悪しは、不純物をいかに制御よく拡散できるかにかかっているといっても過言ではない。不純物の拡散を厳密に制御するためには、拡散現象を深く理解しなければならない。拡散現象の理解は、実際に拡散処理を施した試料の不純物濃度分布を測定したり、結晶内の不純物の状態を観測したり、更には、不純物原子と転位などの結晶欠陥との相互作用を観測することを通して行われる。これらの測定や観測に必要な技術はこれまで種々研究開発され、拡散現象の理解にいろいろ寄与してきているが、必ずしも充分なものとはいえない。例えば抵抗率の測定、ホール効果の測定、pn接合容量の測定のような電気的測定によるキャリア濃度分布を不純物濃度分布と見なすのが一般的であるが、不純物の活性化率の問題もあり必ずしも正しい不純物濃度を与えているとは言えないであろう。また、オージェ電子分光法(AES)や二次イオン質量分析法(SIMS)などは、不純物濃度分布を直接与えるが、不純物の電気的性質や結晶内の不純物の状態などは知ることができない。従って、拡散現象を総合的に理解していくためには、いろいろな側面から拡散現象を観測測定していくことが必要であり、これまでに行われなかった新しい側面からアプローチしていくことも非常に価値あることと思われる。

本論文は不純物拡散により生ずる格子の歪との関係から拡散現象を解析し、不純物の表面濃度を決定する新しい方法を提案したものである。基板に不純物を拡散させると、その濃度分布に従った歪を生じ、そのため基板にそりが発生する。そのそりの大きさは、不純物の濃度分布を仮定すれば、バイメタルのそりと似た方法で理論的に計算できると考え、本論文ではまずそのそり角を表す式を導出した。更にその理論式による計算結果と実際のそりの測定値との比較から、拡散された不純物の表面濃度が決定できることを示した。また、具体的にGaAsへのCdの拡散が補誤差関数にしたがった濃度分布をしていると仮定してそりの理論計算を行い、実際に拡散実験を行って、測定した値とよく一致することを示した。更に、その実験値と理論値との比較よりCdの表面濃度を決定した。

以下§ 2で変形バイメタルモデルの原理を説明し、§ 3ではGaAsへのCdの拡散方法及びそりの測定方

法について述べ、§ 4ではCdが拡散されたGaAs基板のそり角の測定結果と理論計算値を示し、§ 5で理論計算値と実験値との比較検討及び拡散不純物の表面濃度決定法の妥当性について考察を行い、§ 6に本論文の結論を示した。

§ 2. 変形バイメタルモデルの原理

エピタキシャル層を成長させた二重構造を持つ基板結晶において、それぞれの層においては格子定数が一樣であるが、二層間に格子定数の差があるとバイメタルと同じ考え方で基板結晶のそりを理論的に計算することができる。またその応用として、エピタキシャル層と基板結晶の格子定数との差率が 10^{-1} 台まで測定できることが、これまでに本論文の著者等により示されている。^{1),2)}

不純物拡散層を持つ基板結晶もエピタキシャル基板結晶と同様、二重構造になっているが、拡散層には不純物濃度分布があるため格子定数が連続的に変化している。従って、エピタキシャル基板とは違い、基板のそりの計算には純粋なバイメタルの理論を適用することはできない。そこで、格子定数が連続的に変化する層を持つ二重構造基板のそりに対しても計算できるようにしたのが変形バイメタルモデルである。³⁾ 以下そのモデルについて説明する。

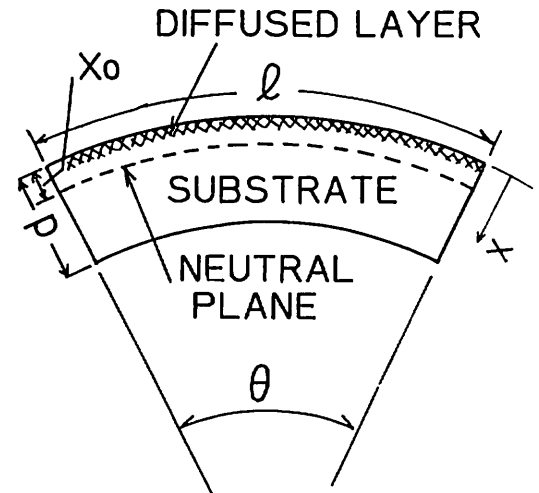


Fig. 1 Schematic illustration of the warpage of a bar of the substrate with diffused layer.

Fig. 1 に拡散層を持つ結晶基板のそりを模式的に示した。その図に示された θ をそり角と定義し、その θ と基板の厚さ d との関係を実験的に計算する式を導く。

Fig. 1 において、拡散層の表面を基準とし曲率中心の方向へ x 軸をとる。表面から任意の深さ x における結晶の表面に平行な方向への歪率 λ は次式で示される。

$$\lambda(x) = \Delta \ell / \ell + \sigma(x) / E - (x - x_0) / R_0 \dots \dots \dots (1)$$

この式の第一項は、不純物が侵入したことによる歪率を表わし、 a_i を不純物原子の半径、 a を母材原子の半径、 $n_i(x)$ を不純物原子濃度、 n_0 を母材原子密度とし、不純物原子は母材原子と置換されると仮定すれば次式で表わされる。

$$\Delta \ell / \ell = \{ (a_i / a)^3 - 1 \} n_i(x) / 3 n_0 \dots \dots \dots (2)$$

(1)式の第2項は、そりの生じた状態での応力 $\sigma(x)$ によるフックの法則に従った格子の歪率を表し、式中の E はヤング率を表す。第3項は、そりによる歪率を表し、 x_0 は応力がゼロである中性面の位置を、 R_0 は中性面の曲率を与える。

中性面では応力がゼロであるので、(1)式は

$$\lambda(x_0) = \Delta \ell(x_0) / \ell \dots \dots \dots (3)$$

となる。従って、Fig. 1 に於いて、 $x = x_0$ での曲率を R_0 とすれば、

$$\theta R_0 = \ell (1 + \Delta \ell(x_0) / \ell) \dots \dots \dots (4)$$

が成立し、任意の x に於いては

$$\theta (R_0 - (x - x_0)) = \ell (1 + \lambda(x)) \dots \dots \dots (5)$$

が成立する。(4)と(5)式の比をとって整理すれば、

$$\lambda(x) = -(x - x_0) (1 + \Delta \ell(x_0) / \ell) / R_0 + \Delta \ell(x_0) / \ell \dots \dots \dots (6)$$

となる。更に、これを(1)式に代入して

$$\sigma(x) = E \{ \Delta \ell(x_0) (1 - (x - x_0) / R_0) - \Delta \ell(x) \} / \ell \dots \dots \dots (7)$$

を得る。

不純物拡散によるFig. 1 のようなそりには外部から応力がかけられていないので、内部応力 $\sigma(x)$ の積分は次式のようにゼロとなる。

$$\int_0^d \sigma(x) dx = 0 \dots \dots \dots (8)$$

また、不純物拡散によりそりを引き起こそうとする曲げモーメントと、フックの法則によりそりを戻そうとする逆の曲げモーメントがつりあっているので次式が成り立つ。

$$\int_0^d x \sigma(x) dx = E d^3 / 12 R_0 \dots \dots \dots (9)$$

もし、不純物の分布 $n_i(x)$ が与えられれば、以上述べた(2), (4), (7), (8), (9), 式を用いて、基板の厚さ d と基板のそり角 θ との関係を計算することができる。以下に、不純物が拡散方程式に従った拡散をする場合、つまり不純物分布が補誤差関数となる場合の計算式を示す。今、 N_s , D , t をそれぞれ不純物表面濃度、拡散定数及び拡散時間とすると、不純物分布は

$$n_i(x) = N_s \operatorname{erfc}(x / (4 Dt)^{1/2}) \dots \dots \dots (10)$$

となる。これを(2)式を通して(7)式に代入し、更に(7)式を(8)式に代入して解くことにより、基板の厚さ d と基板のそり角 θ の関係を与える式

$$\theta = \ell / R_0 = 2 \ell \{ d(\alpha - \beta) - Z \} / \{ \alpha d(d - 2x_0) \} \dots \dots \dots (11)$$

を得る。中性面の位置 x_0 は d の関数であるので、(11)式を計算するにはまず x_0 を決定しなければならないが、これを決定する補助式は、(10)式と(11)式から R_0 を消去することによって次式となる。

$$d^3 (\alpha - \beta) (1 + AN_s \alpha) = AN_s \alpha \{24(d - 2x_s)Dt \gamma + 2d(2d - x_s) Z\} + d^2 Z \dots \dots \dots (12)$$

但し、(11), (12)式に出てくるA, α , β , γ 及びZは次式で与えられる。

$$A = \{(a_s/a)^2 - 1\} / 3n_s \dots \dots \dots (13)$$

$$\alpha = \text{erfc}(x_s / (4Dt)^{1/2}) \dots \dots \dots (14)$$

$$\beta = \text{erfc}(d / (4Dt)^{1/2}) \dots \dots \dots (15)$$

$$\gamma = (1 / \pi^{1/2}) \int_0^{d/\sqrt{4Dt}} x^2 \exp(-x^2) dx \dots \dots \dots (16)$$

$$Z = (4Dt / \pi)^{1/2} \{1 - \exp(-d^2 / 4Dt)\} \dots \dots \dots (17)$$

§ 3. 実験方法

3. 1 拡散処理

変形バイメタルモデルを実際にCdを拡散させたGaAs基板の評価に適用するため、GaAs基板へのCdの拡散方法について述べる。不純物としてCdを選んだのは、CdはGaAsへ拡散する際、拡散方程式に従った拡散をすると報告¹¹⁾されているからである。

実験に使用したGaAs基板は、S-doped n-GaAs (100)ウェーハから切り出したもので、キャリア濃度は $4.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ である。拡散不純物源のCd及び拡散処理中基板にかけるAs蒸気圧源の金属Asの純度はいずれも99.9999%のものである。

GaAs基板、Cd及び金属Asは拡散処理を行う前に次のような表面処理を行った。GaAs基板は粒径1 μ のアルミナ研磨材で研磨し、 $5 \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ のエッチャントで鏡面エッチングを行った。Cd及び金属Asはトリクロロエチレンなどの有機溶剤で脱脂した後、Cdは希硝酸(約5%)で、金属AsはNaOH溶液(約20%)でそれぞれ金属光沢が出るまでエッチングした。

表面処理されたGaAs基板、Cd及び金属Asは、あらかじめ洗浄にされた透明石英管に入れ、 1.5×10^{-5} Torrの真空度で300~400°Cに加熱し、試料の表面の酸化物などを蒸発排気させたあと 1×10^{-6} Torr以下の真空度で封じきる。この石英アンプルを所定の温度に設定した2ゾーンの電気炉に入れ拡散処理する。所定の時間処理した後、アンプルを電気炉から引き出し水に入れて急冷する。

表1に測定に使用した3個の試料の拡散処理の条件と拡散により形成されたpn接合の深さを示した。pn接合深さの測定は、拡散した試料を{110}面でへき開し、その面をステインエッチング($\text{HF} + \text{H}_2\text{O}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$, 0°C, 光照射)した後微分干渉顕微鏡を用いて行った。

Table 1. Conditions for diffusion treatment and pn-junction depths.

Sample number	Diffusion temperature (°C)	Diffusion time (hrs)	Vapour Pressure (Torr)		Pn-junction depth x_j (μm)
			As	Cd	
1	1000	36	1000	117	7.2
2	1000	9	1000	117	4.4
3	900	81	1000	120	10.0

3. 2そり角の測定法

拡散処理した試料より, Fig. 2 に示すような短冊形の試料を {110} 面へき開により切り出し, それをそり角の測定に用いる。そり角はX線二結晶法によるロッキングカーブの半値幅 (FWHM) より決定し,²⁾ 次のような方法でそり角の試料厚さ依存性を測定する。

- (1) まず拡散処理した試料より切り出したままの短冊形の試料のロッキングカーブを測定する。
- (2) 片一方の拡散層の表面をピセインでマスクし, 他方の拡散層をH₂SO₄系エッチャントでエッチング除去する。その状態の試料のロッキングカーブを測定する。

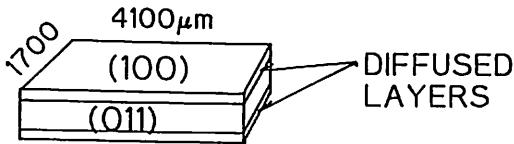


Fig. 2 The structure of the starting specimen with two diffused layers.

- (3) 更に, 拡散層を除去した面を(2)と同じ方法で繰り返しエッチングし, その都度ロッキングカーブの測定を行い, そり角と試料厚さの関係を求めていく。

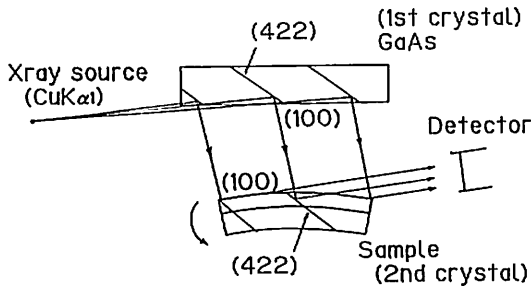


Fig. 3 Schematic illustration of the measurement of the rocking curves of the warped specimen with diffused layer.

なお試料厚さは, マイクロ天秤による重量測定値から算出した。またロッキングカーブの測定は, Fig. 3

に示すように { (422)^v, -(422)^R } の非対称平行配置を用い, X線源にはCuK α₁を使用した。

§ 4. 実験結果

Fig. 4 は, 試料 1 の試料厚さに対するロッキングカーブの変化の測定結果のいくつかを示したものである。No 1. のカーブが拡散した試料から切り出したままの試料 (以下初期試料と呼ぶ) のロッキングカーブに対応し, No. 2, 3, 4 及び 5 のカーブは, 片一方の拡散面を除去しその面をエッチングして試料の厚さがそれぞれ 193, 177, 151, 及び 130 μm となったときのロッキングカーブである。初期試料は Fig. 2 に示すように, 拡散層が両面に対称に存在するので, そりは引き起こされていないと考えられる。しかし, そのロッキングカーブの半値幅は 3.4 秒と非常に小さな値となっているが, それでも完全結晶に対する理論値の 2.2 秒より大きな値となっている。従って, この半値幅の広がり, 基板にもともと存在する転位のような格子欠陥などの結晶の不完全性によるもので, 不純物拡散の結果生じたそりによる広がりではないと考える。拡散層の片方を除去した後, 試料厚が薄くなるに従いロッキングカーブの半値幅が大きく広がっているが, これは, 試料が薄くなるにしたがい, 試料のそりが大きくなっていくことに対応するものである。従って各試料厚さに対する試料のそり角の大きさは, それぞれのロッキングカーブの半値幅から初期試料の半値幅を差し引いた値で与えられる。

Fig. 5 は拡散した試料 1, 2 及び 3 のそれぞれに対し, 上述した方法で求めた試料厚さとそり角の関係をプロットして示したものである。この図で, ●, ○ 及び △印は, それぞれ試料 1, 2 及び 3 の測定値である。また, 各データに対応した実線は, それぞれのデータにフィットするように, (10)~(17)式に不純物の表面濃度 N_s を代入して計算したものである。その結果, 処理温度が 1000°C である試料 1 及び 2 の拡散不純物の表面濃度 N_s は 1.3 × 10¹⁹ cm⁻³ となり, 処理温度が 900°C である試料 3 の N_s は 2 × 10¹⁹ cm⁻³ となった。なお理論計算に用いた定数は以下の通りである。

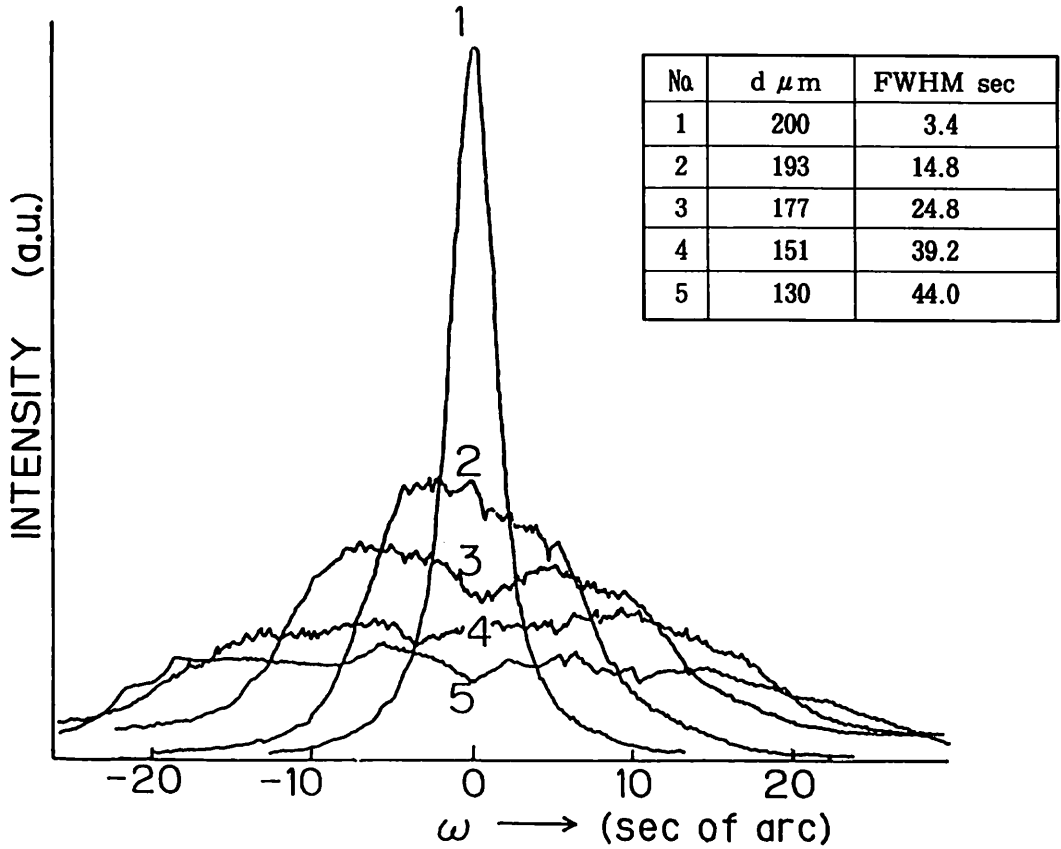


Fig. 4 The variations of the rocking curves of specimen 1 due to reduction of the thickness. Curve 1: starting specimen with two diffused layers, curves 2-5: specimens after removing one side diffused layer.

(1) 三つの試料に共通な定数

- a_i: Cdの共有結合半径.....1.405 Å
- a: Ga又はAsの共有結合半径.....1.225 Å
- n₀: GaAsの原子密度.....4.42 × 10²² cm⁻³
- N_D: 基板のドナー濃度.....4.5 × 10¹⁷ cm⁻³

(2) 各試料に固有の定数

試料	拡散時間 t (hrs)	接合深さ X _j (μm)
1	36	7.2
2	9	4.4
3	81	10.0

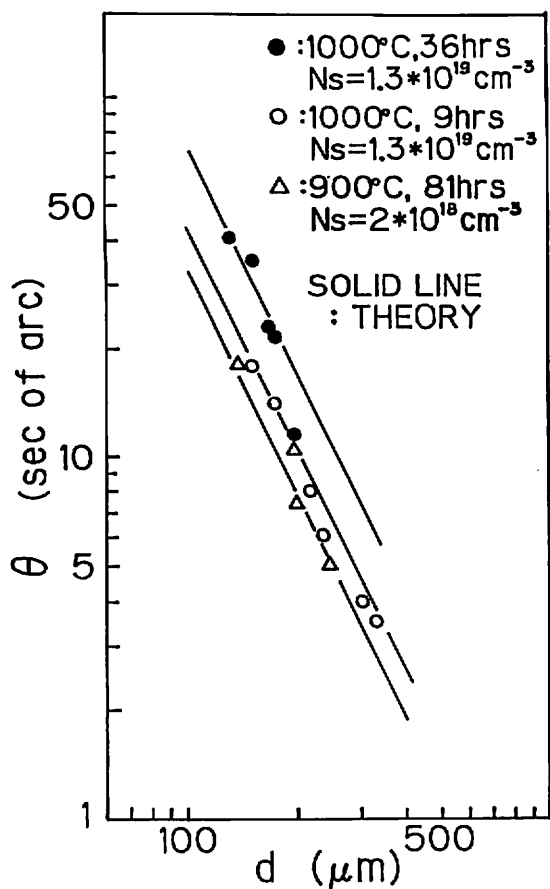


Fig. 5 Angles of warpage as functions of thickness d . Symboles ●, ○ and △ show the angles of warpage of specimen 1, 2 and 3, respectively.

§ 5. 考 察

変形バイメタルモデルの妥当性について考察する。GaAsへCdを拡散させた試料の、試料厚さとそり角との関係を示す測定結果と、Cdの濃度分布が補誤差関数で表されるとして変形バイメタルモデルで理論計算した結果とは、Fig. 5に示されるようになりよい一致を示している。しかし、試料1の厚さが193 μ mの時のそり角の測定値が理論計算値から小さい方になりずれているが、このずれの原因は次のように説明される。理論計算は試料の片一方のみに拡散層があ

る場合について行われているが、実験に使用した試料には両面に拡散層があるので、片側から拡散層をエッチングで除去して測定を行っている。ところが、この時のエッチング深さが表面から7.3 μ mであり、この試料のpn接合深さ7.2 μ mとほぼ同じなので拡散層を除去するには不十分であったと考えられる。従って、除去されず残された拡散層の影響で実際のそり角が理論値よりも小さくなったと考えることができる。

次に、理論値を測定データにフィッティングすることによって得られたCdの表面濃度の妥当性について考える。不純物の溶解度は、不純物の蒸気圧が一定であればその基板温度で決まり、基板温度の上昇とともにその溶解度も大きくなる。試料1及び2は拡散時間は異なるが拡散温度は同じであるので、両試料のCdの表面濃度は当然同じ値になると考えられる。前節で示したように、両試料のCdの表面濃度の測定値は確かに、 $1.3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ と同じ値になっている。更に、試料3においては、試料1及び2よりその拡散温度が低いので、Cdの表面濃度もそれらより低くなるはずであるが、確かに実験結果も $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ と低くなっており、妥当な結果を与えていると考えられる。

更に、上述した方法による表面濃度の決定の精密さと正確さについて考える。Fig. 6は、表面濃度Nをパラメータとし、試料2の定数を用いて試料厚さdとそり角 θ の関係を計算して示したものである。そのグラフの上に試料2の測定値を重ねてプロットしてあるが、それから分かるように測定値のばらつきはNが $1 \sim 1.5 \times 10^{19}$ の範囲に完全に収まっていることを示している。従って、これは約15%の精度で表面濃度の決定ができることを示すものである。一方、この方法で決定された表面濃度の正確さについては、理論式を導出する時の仮定や計算に用いる各定数の正確さに依存するものであり、今後別な方法で測定された表面濃度との比較において、その正確さを評価する必要があると考える。但し、Cdの拡散が補誤差関数に従う分布をしているという仮定は、前述したように、そり角の測定値と計算値がいずれの試料についてもよく一致することから正しい仮定であったと考えられる。更にこの仮定が確かなものであることを示すために次のようなそりの回復に関する測定を行った。

Fig. 7は、拡散した試料を片側からその厚さがdとなるまで薄くし、そりを生ぜしめた後、今度は、反対側の拡散層を部分的にbだけ除去することにより、

そりが回復する様子を示したものである。この時の拡散層の除去深さ b とそり角 θ の関係も、§ 2で詳述した試料厚さ d とそり角 θ との関係と同じように理論的

に計算することができる。この理論式は付録に示す。Fig. 8は、試料1に対するそりの回復の実験におけるロッキングカーブの変化を示したものである。

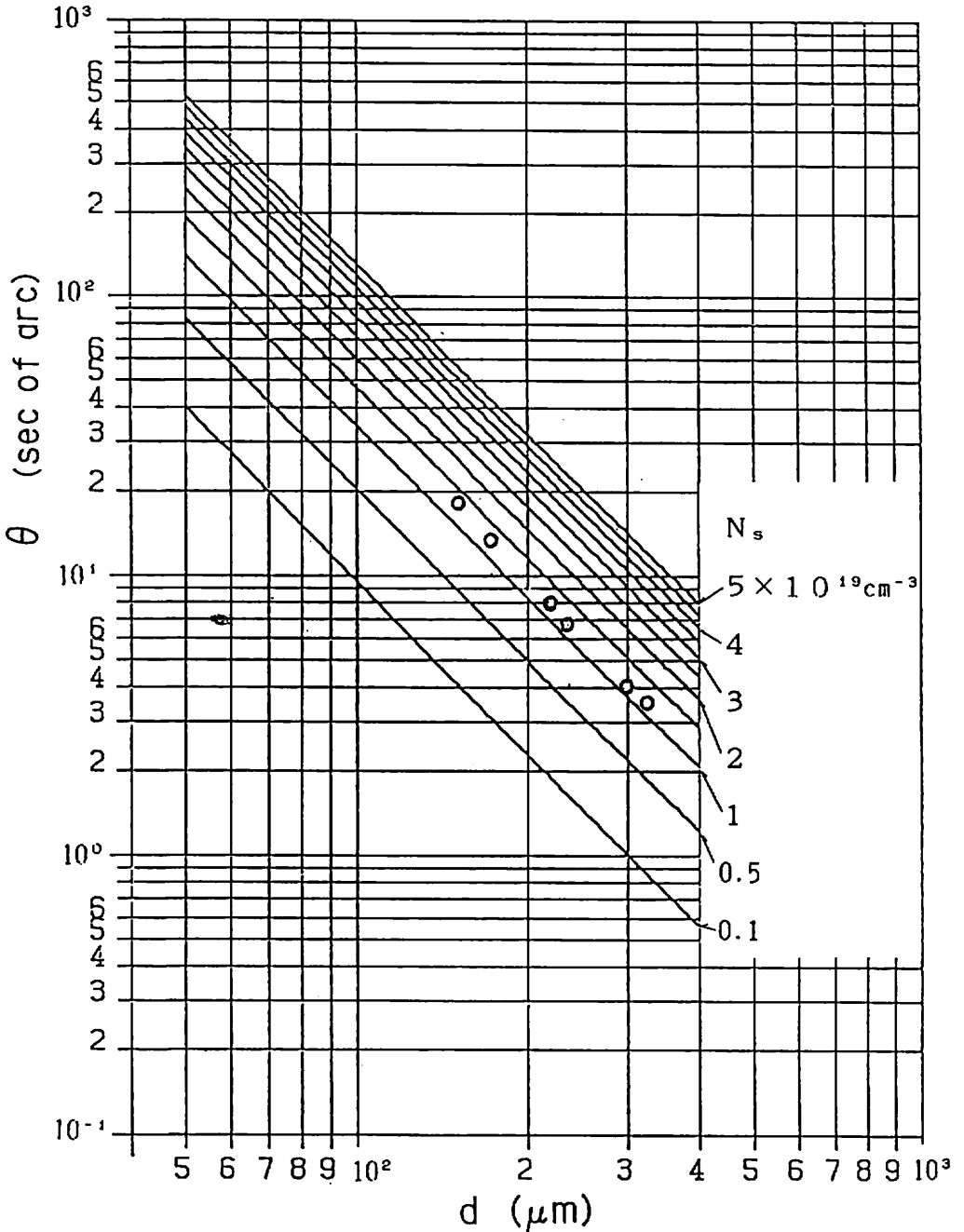


Fig. 6 Theoretical warpage angles of specimen 2 as functions of thickness d for various values of N_s .

この図のNo. 5のロッキングカーブは、Fig. 4のNo. 5のロッキングカーブと同一のものであり、この状態 ($d_0 = 130 \mu\text{m}$) から拡散層を表面よりそれぞれ2.2, 5.3, 7.4 μm 除去した時のロッキングカーブがそれぞれNo. 6, 7, 8のカーブである。これから分かるように、拡散層の除去深さ b の増大に伴いロッキングカーブの半値幅が減少しているの、拡散層の除去に伴いそりの回復が生じていることになる。これらのロッキングカーブの半値幅より求めた拡散除去深さ b に対するそり角の変化の様子をFig. 9に●印で示した。また試料2に対しても同様な測定を行い同図に○印で示してある。ただし、試料2の d_0 は152 μm である。この図に示されている計算値は、すでにFig. 5より決定したCdの表面濃度 $N_s = 1.3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ と、それぞれの試料の定数を付録に示した式に代入して求めたものである。この図から理論計算値と測定値はよく一致していることが分かる。従って、Cdの濃度分布が補誤差関数に従うとした仮定の正当性はこの実験で再確認された。

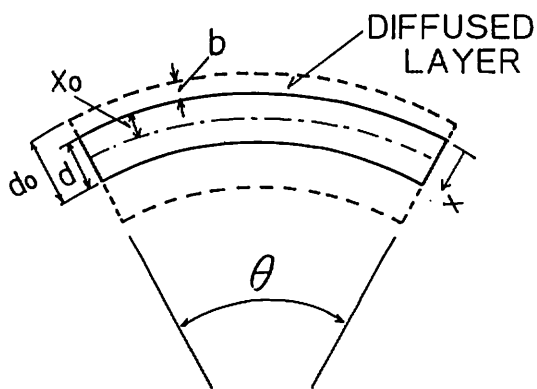


Fig. 7 Schematic illustration of reduction of the warpage angle by removing diffused layer.

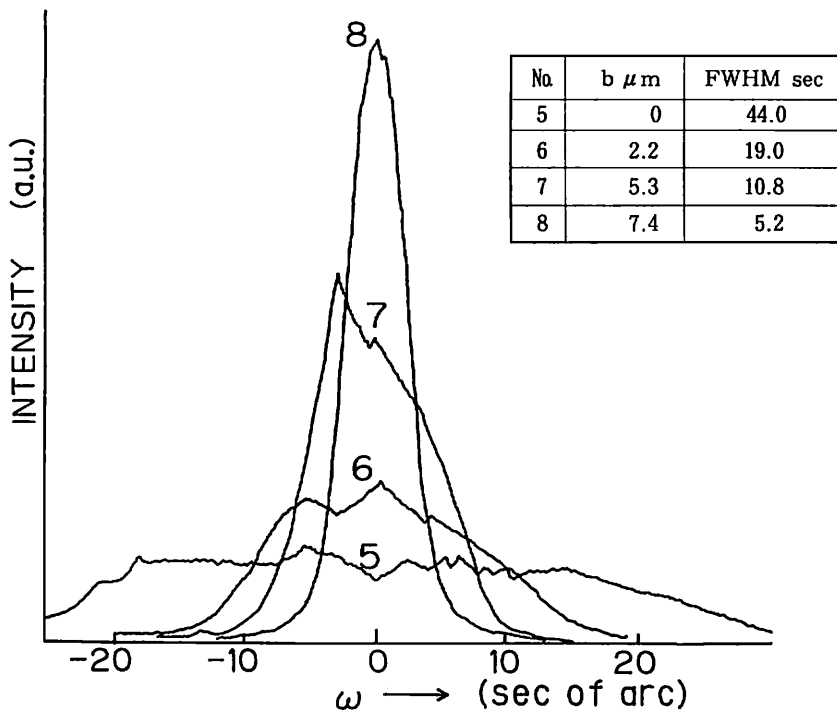


Fig. 8 The variations of the rocking curves of specimen 1 due to removing diffused layer gradually.

以上述べてきた変形バイメタルモデルによる拡散不純物の表面濃度の決定法について、今後改善すべき点について述べる。そり角 θ の理論計算をする時、 Dt の値を与える必要があるが、本論文では(10)式を用いて次のような方法で Dt を決定している。(10)式を変形すると

$$Dt = x^2 / 4 \{ \arg [\operatorname{erfc} (n_i / N_s)] \}^2 \dots \dots \dots (11)$$

となるので、ある x における n_i が分かれば、任意の N_s について Dt を計算することができる。本論文では、pn接合深さ x_j の点での n_i が基板のドナー濃度 N_D に等

しいとして、この値を上式に代入し、 Dt の値を計算している。この方法だと、拡散不純物が基板にもともとドーピングされている不純物と同種の場合や、拡散不純物が中性である場合、あるいは基板の不純物濃度より拡散不純物濃度が小さい場合などのように、pn接合が形成されないような場合は Dt の値を計算することができないことになる。従って、pn接合深さ x_j を用いない純粋なそり角 θ の測定データだけで、 Dt の値を決定する計算手法を今後確立していく必要がある。例えば、(11)~(17)式の計算値が θ と d の測定結果にフィットするように N_s と Dt の値の組を決定する手法を用いることができそうである。しかし、Fig. 5 から分かるように Dt の値に関係なく θ - d 曲線の傾きは同じであるので、実験データにフィットする N_s と Dt の値の組は無数に存在することになり、それを一意的に決定することはできない。現在、試料厚さ d とそり角 θ との測定データへ理論式(11)が、またその回復を与える θ と b との測定データへ付録に示した理論式(A-2)がそれぞれ同時にフィットするようにして、 N_s と Dt の値の組を一意的に決定する方法を検討中である。

§ 6. まとめ

不純物拡散における基板のそり角を計算する理論式をバイメタルの理論を応用して導出し、その理論式をCdを拡散させたGaAs基板に適用することによって、次のような結論を得た。

- (1) Cdの濃度分布が補誤差関数に従うと仮定して計算したそり角 θ の値と測定値はよく一致する。
- (2) そり角の理論計算値を測定値にフィッティングすることによって得られたCdの表面濃度は1,000°Cと900°Cのそれぞれの拡散温度に対して、 $1.3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ を得た。この方法による表面濃度の測定精度は約15%である。
- (3) 拡散層除去によるそり回復過程のそり角 θ の理論式を導出し、その式に、まとめ(2)で示したCdの表面濃度を代入して得た計算値とそり回復の測定値がよい一致を示すことから、Cdの濃度分布が補誤差関数に従うことを再確認した。
- (4) そり角 θ の理論式の計算には Dt の値を代入する必要があるが、 Dt の値を求めるためにpn接合深さ x_j の値と基板のドナー濃度 N_D を用いている。そのためこの理論はpn接合を形成しない不純物拡散には適

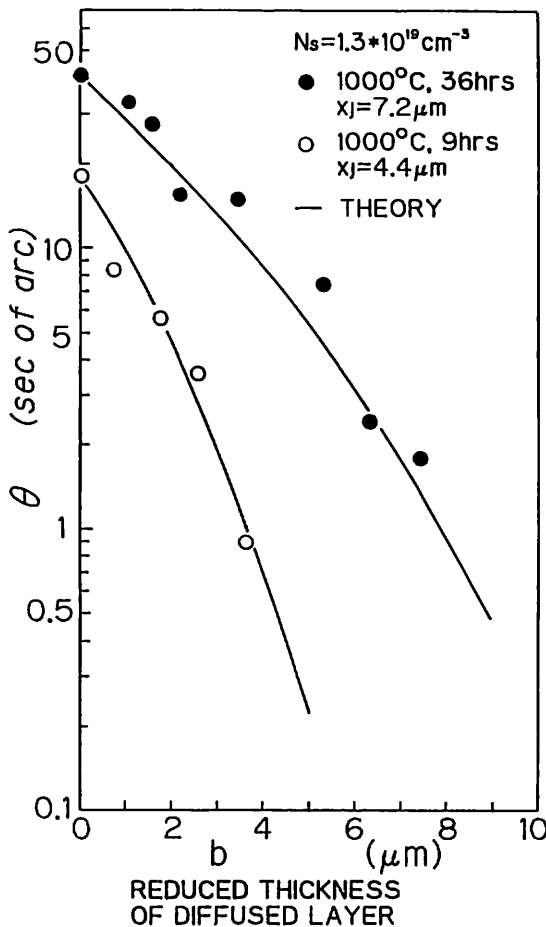


Fig. 9 The warpage angles as function of the reduced thickness b . Symbols ● and ○ show the experimental values of specimen 1 and 2, respectively. Solid lines are obtained from equations (A-1) - (A-10).

用できない欠点がある。

- (5) この欠点を解消するため、純粋にそり角 θ だけの測定値だけから、表面濃度 N_0 と Dt の値を決定する方法の可能性について示唆した。

参考文献

- 1) 前濱, 宮里, 安富祖; 第36回応用物理学関係連合講演会予稿集第1分冊(1989) 3p-ZL-6
- 2) 前濱, 宮里, 安富祖; 琉球大学工学部紀要第38号(1989) P. 11
- 3) 前濱, 宮里, 宮城, 安富祖; 第50回応用物理学会学術講演会予稿集第1分冊(1989)28a-V-3
- 4) 富山能省; 東北大学博士学位論文(1981)
- 5) B. Goldstein: Phys. Rev., 118 (1960) 1024

付 録

拡散層除去によるそり回復の理論式

本文Fig. 7は、拡散した試料を片側からその厚さが d_0 となるまで薄くし、そりを生ぜしめた後、今度は、反対側の拡散層を除々に除去していく時のそり角 θ と拡散層の除去深さ b との関係を表している。Fig. 7で、 x 座標を試料の表面から曲率中心の方向にとり、その原点を常に拡散層が除去された後の表面に設定する。この x 座標の原点の平行移動だけを考慮すれば、本文の§2で述べた θ と d の関係を導出する時とまったく同じ手順で、そり回復における θ と b の関係式を導くことができる。以下拡散層が補誤差関数に従う場合の理論式を示す。

任意の x における拡散不純物濃度 $n(x)$:

$$n(x) = N_0 \operatorname{erfc}\{(x+b)/\sqrt{4Dt}\} \dots\dots\dots (A-1)$$

拡散層の除去深さ b とそり角 θ の関係式:

$$\theta = \ell \{d\alpha' - d_0\beta' + \mu(4Dt/\pi)^{1/2} + b\zeta - \delta(4Dt/\pi)^{1/2}\} / \{d\alpha'(d/2 - x_0)\} \dots\dots\dots (A-2)$$

中性面の位置 x_0 を決定する式:

$$\begin{aligned} & d\{d + AN_0\alpha'(4d - 6x_0)\} \{d\alpha' - d_0\beta' + b\zeta\} \\ & + (\mu - \delta)(4Dt/\pi)^{1/2} \\ & = \{d^2\alpha' - d_0^2\beta' + b^2\zeta\} / 2 + 4Dt(\gamma' - \eta) \\ & \quad + bd_0\beta' + (\delta - \mu)(4Dt/\pi)^{1/2} \\ & \quad \times 12AN_0\alpha'(d/2 - x_0) \dots\dots\dots (A-3) \end{aligned}$$

(A-1), (A-2) 中の各記号は次式で与えられる。

$$\alpha' = \operatorname{erfc}\{(x_0+b)/\sqrt{4Dt}\} \dots\dots\dots (A-4)$$

$$\beta' = \operatorname{erfc}\{d_0/\sqrt{4Dt}\} \dots\dots\dots (A-5)$$

$$\gamma' = (1/\pi^{1/2}) \int_0^{d_0/\sqrt{4Dt}} x^2 \exp(-x^2) dx \dots\dots\dots (A-6)$$

$$\zeta = \operatorname{erfc}\{b/\sqrt{4Dt}\} \dots\dots\dots (A-7)$$

$$\eta = (1/\pi^{1/2}) \int_0^{d_0/\sqrt{4Dt}} x^2 \exp(-x^2) dx \dots\dots\dots (A-8)$$

$$\delta = \exp(-b^2/4Dt) \dots\dots\dots (A-9)$$

$$\mu = \exp(-d_0^2/4Dt) \dots\dots\dots (A-10)$$