

# 1-3 Radiation Enhanced Diffusion とその素子製作への応用\*

東芝 半導体南挙技術部\* 阿部敏雄\*, 大村八通\*\*, 小川雅水\*  
綜研 電子部品研究所\*\* 大坪宏\*, 金沢宇\*\*, 小池勝夫\*\*

I. 序言 半導体単結晶中の Radiation Enhanced Diffusion (以下 RED と略記する) は大別して次の 2 つに分類出来る<sup>(1)</sup>。

1) 基板を不純物の熱拡散は無視出来る程度の高温に保ってプロトン等の注入を行い、予め基板中に形成されていた不純物分布を変化させるもの。

2) 不純物イオン注入時、または注入後の熱処理時に起る異常拡散現象。

これらの現象に因する基礎的研究は数多<sup>(1)</sup>が、RED を積極的にデバイスの性能向上に利用しようとする試みは最近のところ知られていない。われわれは上記分類

1) の現象が通常のイオン注入法に比して半導体中深部部分の不純物分布の制御に使えようであることに着目し、これを活用して超高周波半導体素子の性能向上を図ることを検討中である。今回はその一部として  $N^+on N^+ Si$  エピタキシャルウエーファにプロトン注入を行うことにより  $N^+$  substrate より  $N^-$  エピタキシャル層中へ RED を行うことに因する検討結果を報告する。

II. プロトン注入装置 RF イオン源で水素ガスを放電し、得られたイオンをバンデグラフ加速器で加速する。このイオンを質量分析磁場に導き、プロトンのみを取り出し、試料に照射する。試料  $Si$  ウエーファは常温より  $1200^\circ C$  まで昇温出来るホルダに保持されている。プロトン照射時のターゲット附近の真空度は常温で  $\sim 10^{-7}$  torr,  $1100^\circ C$  で  $\sim 10^{-6}$  torr であった。

III. RED 実験結果および考察 用いた試料は  $Sb$  dope  $\leq 0.008^{cm}$  の  $Si$  基板上に  $SiH_4$  の熱分解法により高比抵抗  $N$  型層をエピタキシャル成長させたものである。このウエーファを水蒸気中で酸化(酸化膜厚  $t_{ox} \sim 2500 \text{ \AA}$ ) した後、タンタル基板でウエーファの半分をマスクして RED を行った。RED 後の不純物分布は酸化膜を除去後金をマスク蒸着し、Copeland 法<sup>(2)</sup> で測定した。プロトン・ビームの dose 量は  $10^{18}/cm^2$  にとんだが、Schottky 接合の電気的特性には異常は認められなかった。エピタキシャル層厚さ  $t_{epi} \sim 2.6 \mu$  のウエーファを  $1000^\circ C$  に保って  $180KV \rightarrow 140KV$  に加速したプロトンを順次注入した結果 RED は認めることが出来なかった。

注入プロトンのエネルギー  $E$  の場合の Range を  $R(E)$ , その標準偏差を  $\Delta R(E)$ , 空孔発生領域を  $K[R(E) \pm \Delta R(E)]$ , 空孔の拡散距離を  $L_v$  とするとこの実験結果より近似的に次の関係式を得る。

$$K[R(180KeV) + \Delta R(180KeV)] + L_v < t_{epi} + t_{ox} \quad \dots\dots (1)$$

また同様のウエーファを同じ温度で  $300KV \sim 150KV$  に加速したプロトンを注入した結果は図 1 に示すような顕著な RED が認められた。これより次式を得る。

$$K[R(150KeV) - \Delta R(150KeV)] - L_v \approx 1.45 \mu \quad \dots\dots (2)$$

式中プロトンの Range に対する正確な値は知られていない。  $R(E)$  として Pfister<sup>(3)</sup> による値、または文献(4)の  $AL$  に付いての値から換算した値を用い、  $\Delta R(E) \approx 0.1R(E)$  と仮定して (1), (2) 式を用いて  $K, L_v$  の値を求めて見た。得た  $K$  の値は  $R(E)$  の

値によって変り、それ以上の議論を進めることは困難であるが、得た $L_v$ の値は用いた $R(E)$ の値にあまり依らず、 $L_v \approx 0.25 \mu$ となり、 $Strack^{(5)}$ が他の実験で求めた値 $\sim 0.3 \mu$ に近い。

REDは条件によって種々の不純物分布が得られるが、図2には $800^\circ C$ で $350KV$   $\sim 150KV$ に加速したプロトンを注入した例を示す。この場合は非常にゆるやかな不純物分布が得られているが、未だこのようなデータを定量的に解釈出来るに到っていない。 $N^+$ の基板より $N^-$ エピタキシャル層中へのRED後の不純物分布を定量的に予測する方法については目下検討中である。

IV. 本技術の応用 まずこの方法は、エピタキシャル・ウエハ中不純物分布の調整に用いることが出来る。例えば $N^+$ 基板上に蒸り高比抵抗層をもつシリコン・エピタキシャル・ウエハは、所望の厚さより相当厚く成長させた後本方法を用いて、基板近くに存在するオート・ドーパ領域を $N^+$ で追越し作ることが出来る。このような不純物の調整はStep Recovery DiodeやImpatt Diodeの性能向上に大いに役立つと考える。また更に選択RED法を採用することにより、マイクロ波トランジスタの性能を大に向上させることが出来る。即ち図3に示す様な構造を採用することにより利得帯域中積を高く保ちながらコレクタ容量を充分小さく出来る。これによりマイクロ波トランジスタの利得を相当改善出来る。この様な構造は他の工程でも応用出来るが、中のせまりエミッタのほゞ直下だけに凸状 $N^-$ 領域を形成出来るのは $L_v$ が小さいため余分のひろがりの少いREDだけであろう。この選択REDに用いる微細なパターンをもつ対プロトン・ビームマスクおよび試作素子の性能等については当日述べる予定である。終りに種々御討議を願ったり、試料作成又は詳細上絶大な御援助を頂いた谷田、造田、堤、内谷の諸氏に深謝致します。

※ 本研究は新技術開発事業団の委託開発の一部として行われたものである。

- 参考文献 (1) 例えは 伊藤, 大泊: 理研シンポジウム 予稿 P.41 多くの参考文献が引用されている。  
昭45-3-9 (2) IEEE Tr. ED; ED-16 (1969) 445 (3) J. Phys. Soc. Japan (Suppl. 3) 18 (1963) 251  
(4) Handbuch d. Phys. XXXIV p.208 (5) JAP 34 (1963) 2405

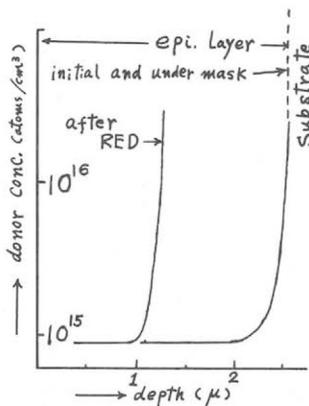


図1

REDによる不純物分布  
 $1000^\circ C$ ,  $300 \sim 150KV$ ,  $\sim 10^{18} H^+/cm^2$

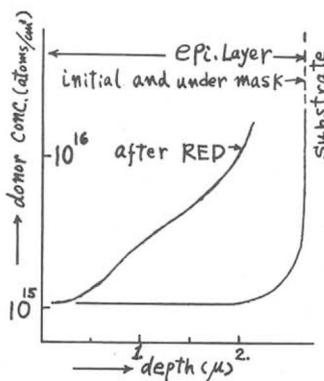


図2

REDによる不純物分布  
 $800^\circ C$ ,  $350 \sim 150KV$ ,  $\sim 10^{18} H^+/cm^2$

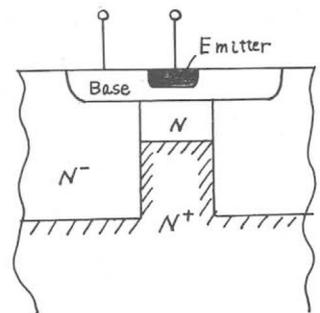


図3

高利得マイクロ波トランジスタ構造原理図