シリコンウェーハにおける自由キャリアのバルク・表面再結合拡散モデル： Ⅰ．厳密解とバルクライフタイム評価

Diffusion model for bulk and surface recombination of free carriers in silicon wafer: I. Exact solution and bulk-lifetime evaluation

九工大院生命体工，　○金田 寛，大村 一郎

Kyushu Inst. Tech.　○Hiroshi Kaneta,　Ichiro Omura

E-mail: kaneta.hiroshi@ele.kyutech.ac.jp

シリコンウェーハに対して自由キャリアのバルクライフタイムを評価する従来法では，一般に，表面再結合を抑止するパッシベーション処理が必要となる．本講演では，表面再結合が起こる場合でも，その効果を分離することによってバルクライフタイムを評価する方法の理論を示す．

バルクライフタイムが $1/a$であり，濃度分布 C が時間変化しない$(\partial/\partial t \equiv 0)$ 場合の自由キャリアの拡散方程式は次の形に書かれる：

$$(D\,\Delta - a)\,C = 0 \;. \tag{1}$$

ここで，D はキャリアの拡散定数（電子と正孔の平均），Δ はラプラスの演算子である．z軸がウェーハ面に垂直になるように円筒座標(r,φ,z)を導入し，その原点（z=0）を厚さ d のウェーハの中間に置く．波長が 1064 nm で，ビーム径が十分細い YAG レーザビームが z軸に沿ってウェーハに入射する場合を扱う．キャリア濃度分布の軸対称性 $(\partial/\partial\varphi \equiv 0)$より，上式(1)は次の形になる：

$$\left\{\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} - \frac{a}{D} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right\} C(r,z) = 0 \;\; . \tag{2}$$

この厳密解は変数分離形 $C(r,z) = \xi_p(r)\,\eta_p(z)$ で求めることができ，分離定数を p/D としたとき，

$$C(r,z) = \xi_p(r)\,\eta_p(z) = m_p\;K_0\left(\sqrt{\frac{a+p}{D}}\,r\right)\;\cos\left(\sqrt{\frac{p}{D}}\,z + \phi\right) \tag{3}$$

と書かれる．ここで m_p は規格化定数であり，K_0 は 0 次の変形 Bessel 関数[1)] である． p は表面再結合の速度を表し，定常励起されている総電子数（＝総正孔数）が N のときに単位時間に表面と裏面で再結合するキャリアの総数が Np で表される．ウェーハの表面と裏面の状態が同じ場合には $\phi = 0$ となり，$C(r,z)$ は中間面（z=0）に関して鏡面対称になる．式（3）からわかるとおり，表面再結合速度 p は，z 方向（厚さ方向）の濃度分布形状を特徴づけると同時に，半径方向の濃度分布にも影響を及ぼし（$a \to a+p$），実効的な拡散長を低下させる（$\sqrt{D/a} \to \sqrt{D/(a+p)}$）．式（3）で p=0 と置いた式が，表面再結合がない場合のキャリア濃度分布を与える．

自由キャリアによるバンド端発光の強度分布測定[2, 3)] などから $C(r,z)$ の実験データを得ることができる．このような実験データに式(3)の右辺の理論式をフィットさせることによって，パラメター（a/D, p/D, ϕ ）の値を定める．これとDの値とからバルクライフタイム $1/a$ の値が求まる．

1）森口ほか，（数学公式集 III，岩波全書，1987），p.170　(1960).　2）金田，大村，応用物理学会 2016 年秋期講演会予稿集，15p-A23-9.　3）K. Moriya, Inst. Phys. Conf. Ser. No 135: Chapter 4, pp.131-134 (1994).