

Siウェハライフタイム測定条件の最適化

林, 大吾
九州大学応用力学研究所

酒見, 亮佑
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/4482078>

出版情報：九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 3, pp.8-12, 2021-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

Si ウェハライフタイム測定条件の最適化

林 大吾 ・ 酒見 亮佑

要 旨

半導体デバイスの特性と製造工程における Si ウェハの性質を包括的に評価する指標として、少数キャリアライフタイムが挙げられる。ライフタイムを正しく評価するためには、表面再結合を抑制し、バルクライフタイムの測定手法を確立する必要がある。本報告では、キンヒドロン-メタノール溶液によるパッシベーションを施した Si ウェハのライフタイムを測定し、溶液の組成等がライフタイムに与える影響を考察することで、測定条件の最適化を試みた。

キーワード

半導体 少数キャリアライフタイム パッシベーション QSSPC 法

1. はじめに

現代のエレクトロニクス分野において、IGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）等の半導体パワーデバイスは、各種コンバータやインバータ、EV 用のモータ制御等、あらゆる用途に使用されている。これらパワーデバイスの高性能化・量産性向上には、目的とするデバイスの性能に対して、材料となる Si ウェハの製造から各加工プロセス、最終的な性能までを、包括的にシミュレートできることが望ましい。そのためには、デバイスの特性と Si ウェハの特性との間に共通する評価指標が必要である。

少数キャリアライフタイム（以下、ライフタイムとする）は、半導体における特性の一つである。半導体は熱や光等の外部刺激によって非平衡状態になると、過剰キャリア（少数キャリアと多数キャリア）を生成する。これらは時間経過とともに熱平衡状態に戻ろうとして再結合を起こし消滅する。この消滅までに要する時間をライフタイムという。

ライフタイムは半導体デバイスのスイッチング特性を大きく左右する要因であり、同時に Si ウェハにおいては、含有する不純物や熱処理で生じる欠陥によって変動するパラメータでもある。ライフタイムは材料・デバイスの両方に共通するパラメータであり、ウェハからデバイスまで一貫した評価指標であるといえる。

ライフタイムを評価基準としたデバイス開発を検討する以上、各工程における半導体のライフタイムを正確かつ画一的に測定する手法が必要である。

本報告においては、表面再結合を抑制するためにキンヒドロン-メタノール溶液（以下、Q-Me 溶液とする）による化学的パッシベーションを行い、QSSPC 法による Si ウェハのライフタイム測定を行うことで、測定条件の最適化を試みた。

2. 原理

2-1. 表面再結合とバルクライフタイム

Si 結晶の表面において、キャリアは不連続な結晶構造から生じるダングリングボンドによって多数のエネルギー準位を持つことになり、結果として表面での再結合が大幅に増大する。この再結合のことを表面再結合と呼ぶ。表面再結合は、結晶特性の評価時やデバイスとしての利用時にライフタイムを著しく低下させる要因となり、キャリア再結合やデバイスそのものの性能に悪影響を与える^[1]。したがって、ライフタイムを基準とした評価においては、表面再結合を抑制し、結晶内部（バルク）のライフタイムを測定する方法が必要となる。

2-2. 化学的パッシベーション

先述の通り、ライフタイム測定においては表面

再結合の影響を取り除くことが望ましいため、結晶表面のダングリングボンドを終端化させる化学的な処理を行う必要がある。その手法の一つがキンヒドロン-メタノールによるパッシベーションである^[2-3]。

キンヒドロンを用いたパッシベーションの原理を図1に示す。空気中において、Si結晶は酸化膜に覆われている。この酸化膜をフッ化水素で洗浄して除去することで、ダングリングボンドはSi-H構造を持つようになる。この状態でQ-Me溶液による処理を行うと、水素終端がキンヒドロンに置き換わり、より強力なSi-O結合を形成する。これによってダングリングボンドを終端化させることで、表面再結合を大幅に抑制することが可能となる。ただし、Si-O結合は大気や水との反応によって不安定となり、ライフタイムに悪影響を及ぼすようになる。そのため、ライフタイム測定においては、パッシベーション中のウェハが外気と接触しないよう、密閉した状態のまま測定を行うことが望ましい。

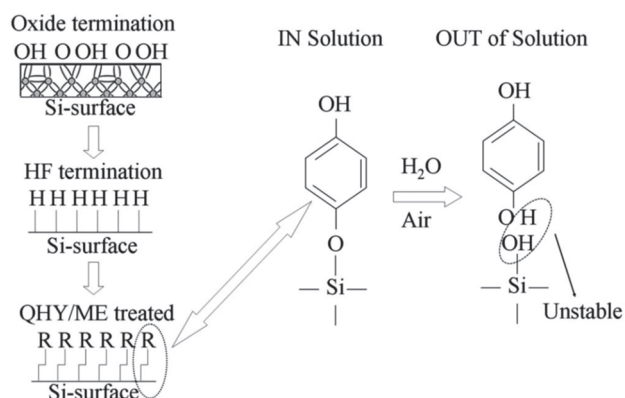


図1 キンヒドロンパッシベーションの原理^[3]

2-3. QSSPC 法

QSSPC 法は、半導体のライフタイム測定方法の一種である。半導体基板にフラッシュランプで光照射を行って過剰キャリアを発生させ、生じたキャリアによる電磁誘導をコイルで検出することで少数キャリアの密度を算出する。このキャリア密度の時間変化（減衰）を測定することで、ライフタイムを測定する。

本実験においては、Sinton社のWCT-120をライフタイム測定装置として使用した。

3. 実験方法

ライフタイム測定装置 WCT-120 を用いて、Siウェハのライフタイム測定を行った。本実験で使用したウェハの特徴を表1に記載する。

測定に際して、SiウェハにはQ-Me溶液を用いたパッシベーションを施した。Q-Me溶液は、0.05M、0.01M、0.005Mの3水準の濃度を調製して使用した。

パッシベーション開始を0分として時間をカウントし、3~21min (3min 刻み)、30~60min (10min 刻み)、60~180min (30min 刻み)の各時刻でライフタイムの測定を行った(1サンプルにつき計15回)。実験の流れを以下に記載する。

- ① 計量したキンヒドロンをメタノールに室温で溶解させ、Q-Me溶液を調製する。
- ② Siウェハを3%フッ化水素で約3分間洗浄する。洗浄後、ウェハを純水ですすぎ、表面の撥水を確認する。
- ③ 洗浄したウェハとQ-Me溶液約2mlをパウチ袋に入れ、空気が混入しないように密閉する。
- ④ Q-Me溶液投入時点から時間を測定し、定刻になる毎にライフタイムの測定を行う。

表1 サンプルSiウェハの特徴一覧

| | |
|--------|-----------------|
| メーカー | 信越半導体株式会社 |
| 結晶製造方法 | CZ法 |
| type | n型(リンドープ) |
| 直径 | 3インチ |
| 厚さ | 380 μ m |
| 比抵抗 | 50 Ω ·cm |
| 表面 | 両面研磨 |

4. 測定結果

本実験では、同様のウェハ・パッシベーション条件で複数回の実験を繰り返した。その結果、ほぼ全てのサンプルにおいて、パッシベーション開始からライフタイムが増加し、一定時間が経過した時点からは最大値を維持するパターンを示した。しかし、この最大値は小さいもので2ms、大きいもので10msと大きく分散しており、単純に測定結果を一覧化するだけではQ-Me濃度ごとの傾向や時間経過によるライフタイム推移の傾向

を確認することができなかった。そのため、下記の方法に則って測定結果を集計した。

- ① 各サンプルをライフタイムの最大値によって、0~3.5ms、3.5~6.5ms、6.5ms~の3区分で分類する（以下、それぞれ区分1、区分2、区分3とする）
- ② それぞれの区分でQ・Me濃度・測定時刻ごとにライフタイム測定値の平均を算出する。

集計したデータをもとに、各区分におけるライフタイムの時間推移をグラフ化した。Q・Me濃度0.05Mの結果を図2に、0.01Mの結果を図3に、0.005Mの結果を図4にそれぞれ記載する。

5. 考察

本実験におけるライフタイムの増加は、時間経過とともにキンヒドロンと結晶表面の化学反応が進行していることを示している。そのため、ライフタイムが最大値を取った時点で、表面の終端化が完了し表面再結合による影響を取り除けているものと思われる。したがって、バルクライフタイムの測定に際しては、この最大値をライフタイムとするのが適切であると考えられる。測定・集計結果から、バルクライフタイム測定における、Q・Me濃度およびパッシベーション時間について検討した。

Q・Me濃度が0.05Mの場合、集計した3区分全てが40~60分で最大値に収束している。0.01Mの場合では、区分1・2が80分前後、区分3がおおよそ120分で最大値に達している。0.005Mについては、区分1が80分前後で最大値に達しているものの、区分2・3では180分経過時点で最大値への収束が見られなかった。

区分ごとにQ・Meの濃度による差を見てみると、Q・Me溶液が高濃度であるほど最大値への収束が早いのは、一般的な反応速度論の観点から理解がしやすい。

今回求める測定条件としては、あらゆるサンプルで測定条件を画一化できることが望ましい。そのため、サンプルの取り得るライフタイムの最大値によってパッシベーションに要する時間が変動する0.01Mおよび0.005MのQ・Me溶液は、適切でないものと思われる。したがって、本実験におけるライフタイムの範囲では、0.05MのQ・

Me溶液を使用して、60分のパッシベーションを行った時点で測定が、画一的な測定条件として最適であるものと考えられる。

6. 課題

① ライフタイムの分散について

本実験開始当初は、単純に測定結果を濃度ごとに集計するだけでよいものと考えていたが、前述のとおり、著しいライフタイムの分散が見られたため、止む無く最大値ごとに区分を設けて集計する手法を取った。

この分散に関しては、原因究明のため様々な検証・検討を行った。各実験でのウェハは同ロットのものが使用されたため、ウェハの品質によるばらつきとは考えにくい。ウェハの洗浄時間やサンプル封入時の水分混入、Q・Me溶液の量等についても疑ってみたが、実験の結果、これらの要因とは無関係に分散が発生した。本稿執筆時点では依然として原因不明のままであり、様々な側面から検討を続けている。

② MCZおよびFZウェハへの展開

本実験で取り扱ったSiウェハはCZ法で製造されたウェハ（以下、CZウェハとする）のみであり、SiウェハにはCZ法の他にもMCZ法やFZ法で製造されたものが存在する。MCZ法やFZ法は製法上、CZ法と比較して結晶内部への酸素混入が抑制されており、ライフタイムキラーとなり得る酸素による欠陥が少ないため、一般的にMCZ・FZウェハはCZウェハよりも長いライフタイムを持つ傾向にある。

しかし、本実験と並行してMCZウェハおよびFZウェハの測定を数回行ったところ、おおよそ2~5msの範囲でライフタイムが最大値を取り、6msを超えるデータは確認されない結果となった。CZウェハでは8msを超えることがあったことを考えると、この結果は先述の一般論に反しているものと考えられる。使用したウェハのFT-IR分析等を行い、原因を検討中である。

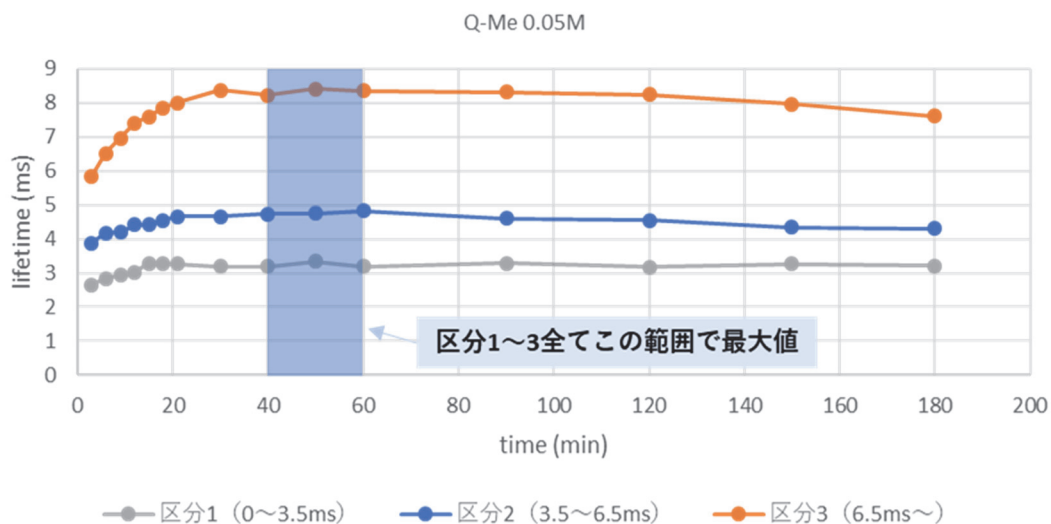


図2 Q-Me 濃度 0.05M でのライフタイム推移

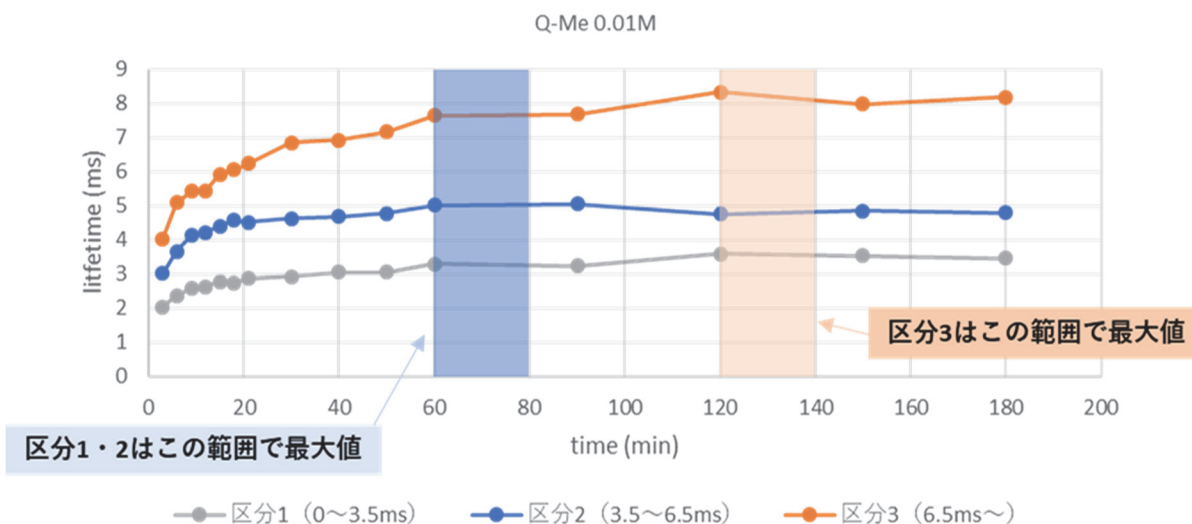


図3 Q-Me 濃度 0.01M でのライフタイム推移

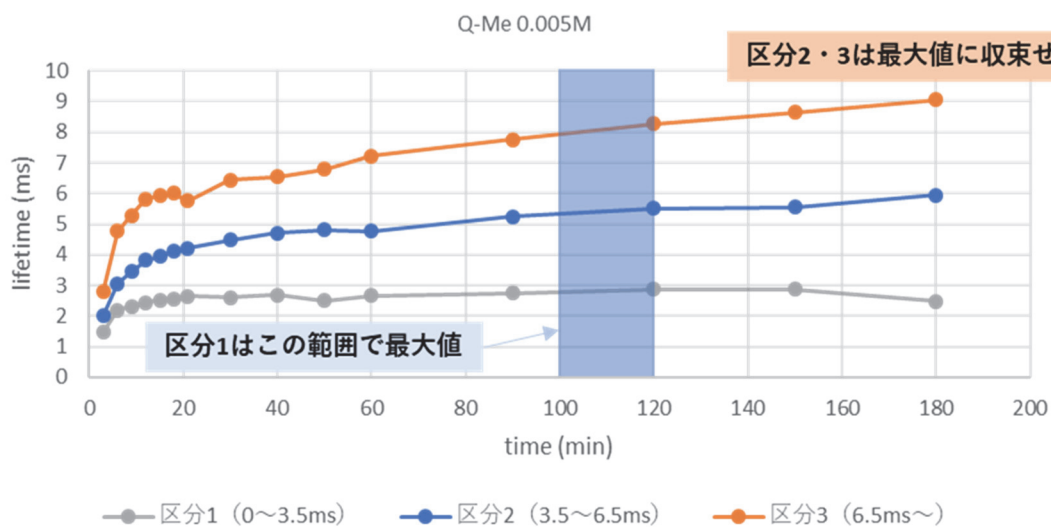


図4 Q-Me 濃度 0.005M でのライフタイム推移

参考文献

- [1] Simon Min Sze : Semiconductor Devices Physics and Technology, 57-58, 2001.
- [2] Hidetaka Takato, Isao Sakawa and Ryuichi Shimokawa : Quinhydrone/Methanol Treatment for the Measurement of Carrier Lifetime in Silicon Substrates, Jpn. J. Appl. Phys, 41, 870-872, 2002.
- [3] Bhumika Chhabra, Stuart Bowden, Robert L. Opila, and Christiana B. Honsberg : High

effective minority carrier lifetime on silicon substrates using quinhydrone/methanol passivation, Appl. Phys. Lett, 96, 063502, 2010

謝辞

本実験の実施に際しては、九州大学応用力学研究所の西澤伸一教授に多大なるご指導を賜りました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。