

重水を用いた原子層堆積(ALD)法による Al₂O₃ 膜電氣的絶縁耐压の向上

Enhancement of dielectric strength of ALD-Al₂O₃ films using heavy-water oxidant

早稲田大学理工学術院 °車 一宏, 齊藤 達也, 大長 央, 平岩 篤, 川原田 洋

Waseda University, °K.Kuruma, T.Saito, A.Daicho, A.Hiraiwa, H.Kawarada

E-mail: todooroki-kazu@fuji.waseda.jp

1. 緒言 水素終端したダイヤモンド表面に誘起される2次元正孔ガス(2DHG)は、高周波・パワーFET(filed-effect transistor)のドリフト層として有望である。酸化剤にH₂Oを用い高温(450°C)のALD(atomic layer deposition)法によりAl₂O₃膜を保護膜として形成すれば、この2DHGを過酷な外部環境(550°Cの大气)から保護することができる¹⁾。同保護膜はFETのゲート絶縁膜でもあるので、同膜の電氣的絶縁性には高い信頼性が要求される。絶縁膜の電氣的破壊は、付加された電界により膜中に注入された、もしくは衝突電離にて生成された電荷の一部が捕獲され、膜中の電界分布や構造を様々に変化させる結果生ずるとされている²⁾。これをもたらし捕獲準位は不純物として存在する水素に少なからず起因するとされているので、膜中水素を重水素に置き換えることができれば、膜構成元素との結合エネルギーが変化するので捕獲準位も変化し、結果として絶縁性も変化する可能性がある。そこで、ALD法によりAl₂O₃を形成するに際して従来の軽水(H₂O)に代え重水(D₂O)を酸化剤に用い、その効果を検証した。

2. 実験方法 比抵抗1-3Ω・cmのp型(100)Si基板上に、トリメチルアルミニウムと酸化剤(H₂OまたはD₂O)を交互に供給するALD法により100-450°CにてAl₂O₃を450サイクル(約30nm)成膜した。その後、抵抗加熱蒸着法を用いてAuをマスク蒸着することにより上部電極を形成しキャパシタを完成させた。面積は2.5×10⁻⁵ - 3.6×10⁻³ cm²である。リーク電流は、Si基板が蓄積状態となるように上部電極に負の電圧を付加しながら測定した。またC-V特性は、変調周波数1kHz、変調振幅30mVの下で測定した。測定温度はいずれも室温である。

3. 結果と検討 (1) ALD-Al₂O₃膜のリーク電流は、いずれの酸化剤に対しても成膜温度が高いほど少ない(図1)。100°CにおいてはH₂O成膜の方がリーク電流が少ないが、450°Cでは逆転する。(2) 絶縁破壊電界は、200°C以下で形成した膜においては酸化剤によらずほぼ8MV/cmであるが、D₂Oを用いて450°Cにて形成した膜においては他の膜と比べて約2MV/cm高い。(3) 図2に示すようにフラットバンド電圧が成膜温度に依存しないところから、上記リーク電流の減少は、絶縁膜帯電量的変化でなく、上部電極/絶縁膜間の障壁高さが増大した効果であると考えられる。

4. 結論 従来の軽水に代え重水を酸化剤に用いることによりALD-Al₂O₃膜の絶縁耐压を2MV/cm向上させることに成功した。また、本効果を得るには高温(450°C)で成膜することが肝要であることも明らかにした。今後は、バイアス温度不安定性に関しても改善効果の有無を検討して行く予定である。

本研究遂行にあたりJST先端的低炭素化技術開発(ALCA)の助成を得た。

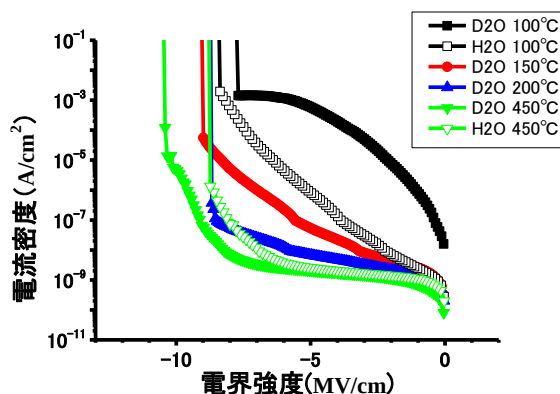


図 1. ALD-Al₂O₃膜の成膜温度と電流電圧の関係

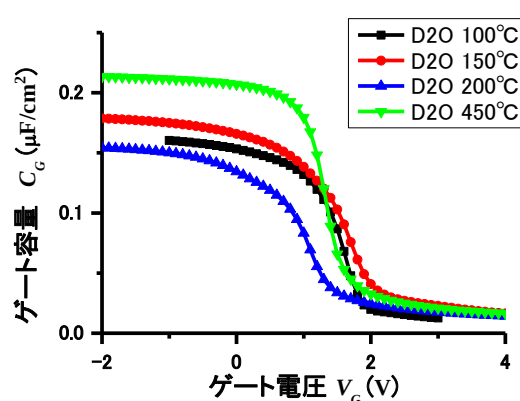


図 2. D₂O 酸化剤を用いた ALD-Al₂O₃膜の C-V 特性

1) A. Hiraiwa, A. Daicho, S. Kurihara, Y. Yokoyama, and H. Kawarada, J. Appl. Phys. **112** (2012) 124504.

2) D. J. DiMaria, E. Cartier, and D. Arnold, J. Appl. Phys. **73** (1993) 3367.