

イオン注入により生じる格子欠陥の除去を目的としたレーザアニール法は、1977年以降、シリコンやガリウム砒素を中心とした半導体のアニール層の特性に関して研究され、アニール層にできる不純物原子の起回密度、低偏析、異常拡散、低残留欠陥密度、高いキャリア活性化率などを特徴とする新しい物理状態(準安定状態)について詳しく報告されている¹⁾。さらに、この方法を用いて非晶質基板上に単結晶を成長させ、3次元集積回路を実現する試みも進められている¹⁾。

しかしながら、数十nsecから数百nsecの過程であるパルスレーザアニールの機構に関する基礎的な問題は、まだ充分解明されていない。パルスレーザアニールの機構としては、研究の初期の段階から一般に熱的溶融モデルが受け入れられてきたが、最近には、このモデルに反する実験結果が報告されており²⁾、レーザにより高密度に励起された電子・正孔プラズマによる非熱的過程でアニールの機構を記述するプラズマ説も報告されている^{3)~5)}。

レーザアニールの機構を解明するための実験としては、レーザアニール中のSi格子温度を測定する方法^{2,6,7)}、格子系温度と電子系の温度の上限下限を決める方法⁸⁾、光学的時間分解測定によりアニール中のSiの状態を測定する方法^{9,10)}などが用いられており、測定された格子温度が熱溶融温度に達しているかどうか、アニール中のSiにおける吸収係数が溶融Siの値となるかどうかと、た点について議論されている。本報告では、ナノ秒パルスNd:glassレーザアニール時のSiの反射率、透過率の時間分解測定を行うことにより、レーザアニールの動的挙動を調べた結果について述べる。

反射率の時間分解測定

Nd:glassレーザ($\lambda = 1060\text{nm}$, $\tau = 20\text{nsec}$)照射中のイオン注入Si表面の反射率($\lambda = 6328\text{nm}$)変化を図1に示す。レーザ照射エネルギー密度を増加することにより反射率が、アモルファス層の反射率30%より64%に増大している。この最大反射率は、Shwarev¹¹⁾による溶融Siの光学定数(n, k)の値を用いて算出した値と一致している。また、この最大反射率の持続時間は、レーザ照射エネルギー密度 2J/cm^2 で約150nsecとなり、電子正孔プラズマによる反射率増大³⁾と考えるには、その寿命が長すぎる¹²⁾。2.3J/cm²のエネルギー密度では、反射率は溶融Siの値となるが、その後急激に小さくなる。これは、このエネルギー密度でSi表面が沸騰し損傷するため急激に反射率が小さくなるためと考えられる。

図1の結果や、Yoffe達³⁾の高反射率持続時間が波長依存性を示さない結果から、初期のホットプラズマモデル³⁾の可能性は否定的であり、Si表面は溶融していると考えられる。

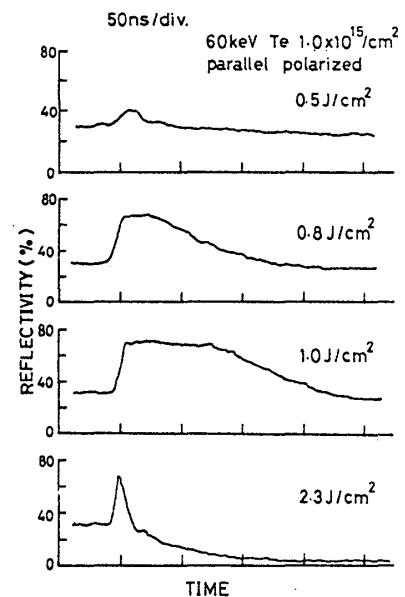


図1 反射率の時間変化

透過率の時間分解測定

図2に、照射レーザー光自身 ($\lambda = 1060 \text{ nm}$) による時間分解透過率のレーザー照射エネルギー密度依存性を示す。破線は、熔融層が基板表面より内部へ一定の速度で進むと仮定した場合の侵入速度である。透過率は、入射エネルギー密度の増大に伴って減少し、 1.0 J/cm^2 以上のエネルギー密度で零となる。

$0.6 \sim 0.7 \text{ J/cm}^2$ で $1.5 \sim 0.7\%$ の透過率となり、再び増加しているのは、熔融層が表面より $20 \sim 30 \text{ nm}$ まで進み再び固化するためと考えられる。また、透過率が零となるのは、熔融層が 60 nm 以上の厚さとなるためと考えられる。この結果は、ヘリウムイオンのチャネリング効果を用いたアニール層の厚さの測定結果と一致している。また、この結果は、Aydinli 達による透過光の実験結果⁹⁾に反しており、Van Vechten による電子正孔プラズマの表面層への自己閉じ込め (self confinement) および系のボゾン凝縮を中心とした cold plasma 説^{4,14)}の可能性を否定するものである。

以上のように、パルスレーザーアニールの機構を解明するための光学的時間分解の測定結果は、電子正孔プラズマによる非熱的過程を否定するものであるが、単純な熱熔融モデルが妥当であるかどうかは、アニール中の正確な格子温度測定などがさらに必要である。

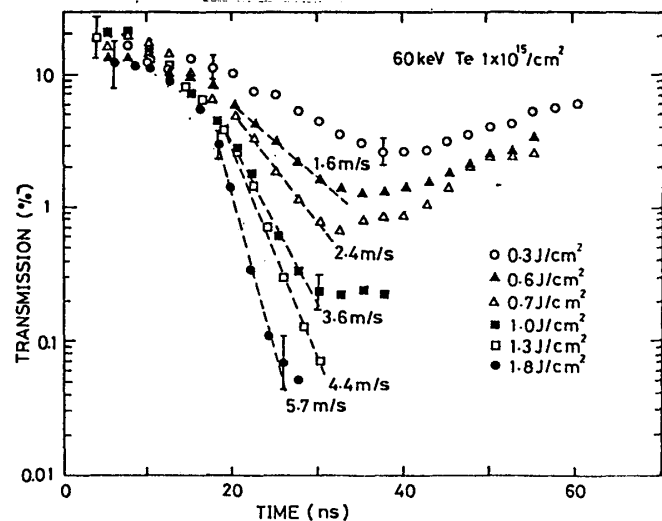


図2 透過率の時間変化

参考文献

- 1) 例えば、1978 年以來 Boston で開かれて いる レーザー アニール シンポジウム の Proceeding ; 理研 シンポジウム 「イオン注入とサブミクロン加工」 1979 年 ~ 1982 年
- 2) H.W. Lo and A. Compaan : Appl. Phys. Lett. 38, 179 (1981)
- 3) J.A. Van Vechten et al : Phys. Lett. 74A, 422 (1979)
- 4) J.A. Van Vechten et al : Solid State Comm. 39, 867 (1981)
- 5) J. Bok : Phys. Lett. 84A, 448 (1981)
- 6) B. Stritzker et al : Phys. Rev. Lett. 48, 356 (1981)
- 7) K. Murakami et al : Jap. J. Appl. Phys. 20, L867 (1981)
- 8) J. M. Liu et al : Appl. Phys. Lett. 39, 755 (1981)
- 9) A. Aydinli et al. : Phys. Rev. Lett. 46, 1640 (1981)
- 10) M. Tabai et al : Laser and Electron Beam Interactions with Solids, ed. B.R. Appleton and E.K. Celler (Elsevier - North Holland, New York, 1982) in Press

- 11) K.M. Shvarev et al : Sov. Phys. Solid State 16 2111 (1975)
- 12) E.J. Yoffa : Phys. Rev. B 21 , 2415 (1980)
- 13) E.J. Yoffa : Appl. Phys. Lett. 36 , 37 (1980)
- 14) J.A. Van Vechten : ibid. in ref. 10