

集積回路の高性能化に向けた 4 族半導体結晶の研究

Keywords: 半導体, エピタキシャル結晶成長, 集積回路

研究の背景

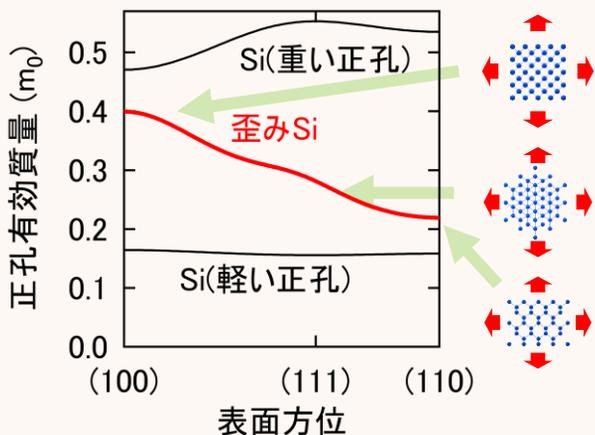
課題：半導体集積回路の性能を向上させるため、ナノシート型トランジスタの開発が進んでいます。半導体は電気抵抗を大きく変化させられることが特徴ですが、その制御性が低下する傾向にあり、このままでは性能の低下・消費電力の増大を避けられません。

解決策：半導体の電気抵抗を制御する物理量として電子・正孔の“移動度”があります。当研究室では、特定の結晶面上に異種半導体を積層することで半導体を構成する原子の配列を人工的に制御することで正孔の移動度を大幅に向上できることを理論予測し、実験により証明しました。

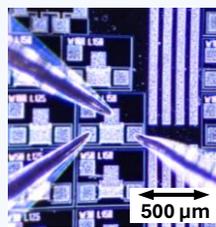
研究の成果

理論的計算による最適構造の探索

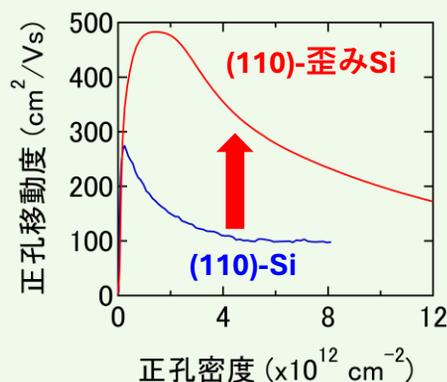
半導体のような固体中での電子や正孔の（キャリア）振る舞いは真空中とは大きく異なります。集積回路中での電気抵抗（電流の流れにくさ）に関する“有効質量”は原子の配列に大きく依存します。下のグラフは原子の配列と有効質量（小さい方が高性能・低消費電力化に有利）との関係を計算した結果です。原子面の表面方位と結晶格子歪みの重要性が明らかになりました。



高移動度トランジスタの実証実験



結晶格子歪みによる正孔移動度増大を実験で確認するため、分子線エピタキシー法により試料を作製し、電界効果型トランジスタを作製し、測定を行いました（左の写真）。



理論計算により予測された通り、(110)面上に歪んだ結晶を形成することにより高い正孔移動度が得られることを実証しました。最新の集積回路への応用が期待できる結果です。



多結晶4族半導体薄膜デバイスの高性能化に関する研究

Keywords: エピタキシャル結晶成長, 量子効果

研究の背景

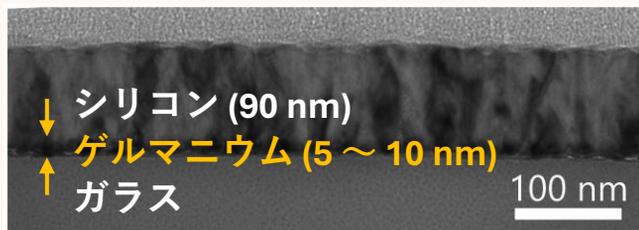
課題：半導体デバイスをフレキシブル基板上に実装するためには、薄い半導体を非晶質基板上に低温で結晶成長しなければなりません。このため高品質な結晶を得ることが難しく、フレキシブル半導体デバイスの性能が制限される要因となっています。特にリーク電流の抑制と移動度の向上を両立させることが課題です。

解決策：シリコンと比較してゲルマニウムは低温で結晶を得ることができ、ゲルマニウム結晶上には低温でシリコンの多結晶を形成することができます。この手法により、全工程を通じて400°Cを超えない条件で、高性能な多結晶シリコンp型トランジスタを作製することに成功しました。

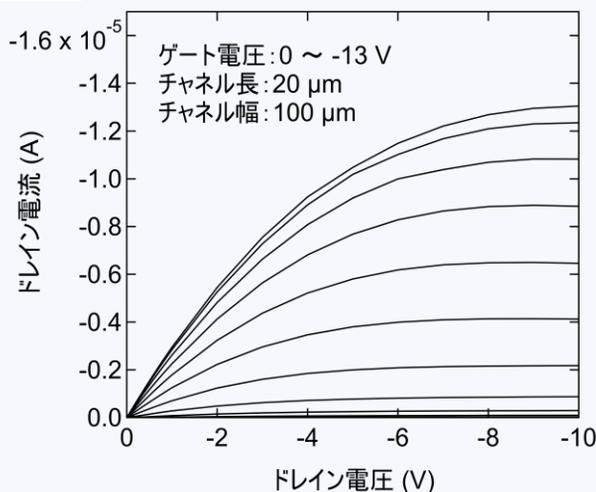
研究の成果



ガラス上に形成した半導体デバイス



透過型電子顕微鏡像



ガラス状に作製したトランジスタの電気特性

- ✓ プロセス温度：全工程を通じ400°C以下
- ✓ On/Off比（On・Off時のドレイン電流の比）：5桁
リーク電流が小さいノーマリー-OFF型の動作を実現
- ✓ 正孔移動度：34 cm²/Vs
- ✓ 表面粗さの低減・結晶の大粒径化により更に高性能化を期待できる。



エピタキシャル結晶成長による 4 族半導体量子構造の作製と物性評価

Keywords: エピタキシャル結晶成長, 量子サイズ効果

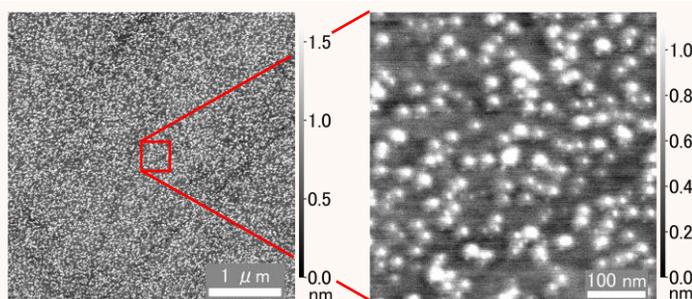
研究の背景

課題：半導体微小構造中での電子・正孔の振る舞いはバルク結晶中でのそれとは大きく異なります（量子サイズ効果）。これにより高効率な4族半導体発光デバイスを実現できる可能性があります。しかし現状では発光効率が充分ではなく、実用的な4族半導体発光デバイスの実現には至っていません。

解決策：半導体を絶縁体で閉じ込めた構造では強い量子サイズ効果が得られると考えられます。当研究室では、絶縁体であるサファイア基板に直径10ナノメートル程度の微小な4族半導体量子ドットを作製しました。また、室温でのフォトルミネッセンス測定を行い、量子ドット由来と考えられる発光を観測しました。

研究の成果

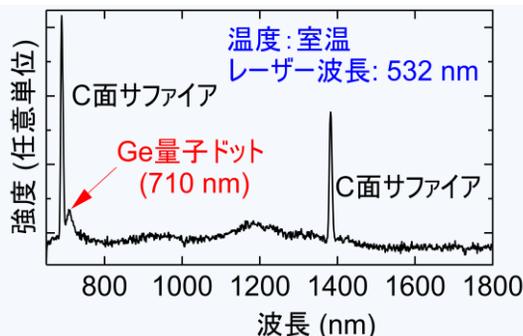
ゲルマニウム量子ドットの作製



原子間力顕微鏡像による ゲルマニウム量子ドットの観察

サファイア基板に分子線エピタキシー法によりゲルマニウム量子ドットを形成しました。原子間力顕微鏡による観察結果から、直径10 nm前後の量子ドットを高密度に形成できたことが分かります。また、これらの粒子は特性の結晶方位をもっていることも分かっています。

フォトルミネッセンス測定



フォトルミネッセンス ・スペクトル

室温でのフォトルミネッセンス測定の結果を示します。スペクトル中にゲルマニウム(Ge)量子ドット由来と考えられる発光が検出されました。更に研究を進め、4族半導体発光デバイスの実現を目指します。

