修士学位論文要約（平成29年３月）

キャリア拡散の抑制による化学イメージセンサの高解像度化

須藤　武志
指導教員：吉信 達夫,　研究指導教員：宮本 浩一郎

Improvement of the Spatial Resolution of a Chemical Image Sensor by Suppressing the Lateral Photocarrier Diffusion

Takeyuki SUTO
Supervisor: Tatsuo YOSHINOBU,　Research Advisor: Ko-ichiro MIYAMOTO

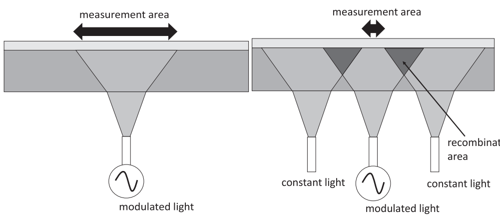
Light-Addressable Potentiometric Sensor (LAPS) is a field-effect chemical semiconductor sensor which is capable of visualizing the two-dimensional pH distribution on its sensing surface. The spatial resolution of LAPS depends on the illuminated area of the modulated light and the lateral diffusion length of the minority carriers in the semiconductor substrate. In this study, the measurement setup with novel illumination system to improve the spatial resolution was developed. The illumination with an additional constant light was used to suppress the lateral diffusion. An area of high minority carrier density is caused by the constant illumination around the illumination area of the modulated light. Here, the minority carriers induced by the modulated light are reduced by enhanced recombination. Thus, the lateral diffusion of these minority carriers is suppressed, resulting in a higher spatial resolution. The effect of the constant light illumination on the spatial resolution was investigated. In addition, a half patterned sensor plate was scanned and the spatial resolution was defined as the transition-region width of the edge response. As a result, the highest spatial resolution with a transition-region width of 80 μm was achieved.

1. はじめに

LAPS (Light-Addressable Potentiometric Sensor)は半導体化学センサの一種である[1]。LAPS 測定ではセンサ基板にバイアス電圧を印加し、変調光を照射する。半導体基板内に発生した少数キャリアが絶縁層界面まで拡散することで、検液の pH に応じた光電流値が外部回路で計測される。また、LAPS の測定領域は変調光の照射領域によって定義されるため、変調光を二次元走査しながら光電流値を取得することで pH の二次元分布をイメージングすることが可能である。

LAPSの空間分解能は、変調光の照射面積と少数キャリアの横方向の拡散距離に依存する。半導体基板を薄くしたり、少数キャリアの拡散距離の短い基板を用いたりすることで、少数キャリアの横方向の拡散を抑制できるが、これらの方法は少数キャリアの縦方向の拡散の抑制や機械的強度の低下を伴う。従って先行研究では、Fig.1 に示すような、定常光照射による空間分解能の向上が試みられた[2]。定常光照射により、変調光照射領域の周囲にキャリア密度の高い領域を形成し、再結合によって変調光の少数キャリアの横方向の拡散を抑制する。

先行研究では照射光のライドガイドとして光ファイバーを使用したため、光照射面積が増大し、空間分解能が低下した。従って本研究ではレーザー光源と集光レンズを用いた測定システムを構築することで空間分解能の向上を目指した。



(a) 定常光非照射　(b) 定常光照射
Fig.1 光照射時のキャリア拡散

2. レーザー光源を用いた定常光照射型測定システム

本研究で構築した測定システムにおける、変調光と定常光の成形方法を Fig.2 に示す。変調光源、定常光源ともに直進性に優れるレーザー光源を使用した。定常光においては、ビームエキスパンダと円形の遮蔽物を用いることでリング状照明を作り出した。ビームスプリッタを用いて変調光と定常光の合成を行った後に、集光レンズを用いて半導体基板裏面に照射光を集光した。

空間分解能の検証には、基板上にパターニングを

施したセンサ基板を用いた。パターン境界をスキャンした場合の光電流値減少の幅を遷移領域幅とし、その大小で空間分解能の議論を行った。

Fig.3 に一例を示す。定常光照射時には、光電流値減少の傾きが急峻となっており空間分解能の向上を示している。遷移領域幅は、定常光非照射時は 232 µm、定常光照射時は 88 µm であった。定常光照射によって、変調光の少数キャリアの横方向の拡散を抑制することに成功した。

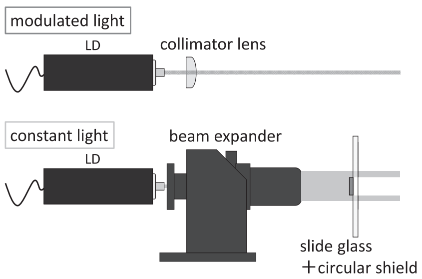


Fig.2 光の照射方法

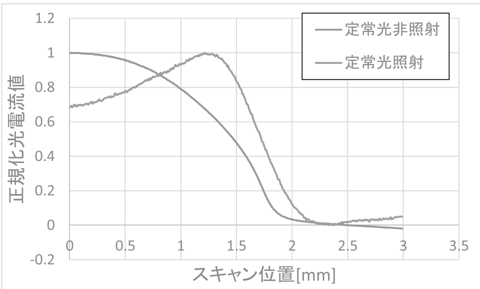


Fig.3 空間分解能測定

3. 対物レンズを用いた定常光照射型測定システム

前節の測定システムでは、変調光の照射面積が小さくなると空間分解能が向上し、定常光の内径を小さくしすぎると空間分解能が低下することが確認された。そこで本章では対物レンズを使用し、さらに変調光と定常光の焦点が異なる測定システムを構築した。

変調光と定常光の照射方法を Fig.4 に示す。定常光生成の際にコリメートレンズを用いることで、対物レンズによる集光後の変調光と定常光の焦点を異なる位置とした。

Fig.5 にラインスキャン波形を示す。遷移領域幅は、定常光非照射時は 120 µm、定常光照射時は 80 µm であり、前節の測定システムよりも空間分解能を向上させることに成功した。最後に、幅 100 µm のレジストパターンの二次元イメージング結果を Fig.6 に示す。定常光照射により解像度が高まり、パターンのイメージングが可能となる様子が確認された。

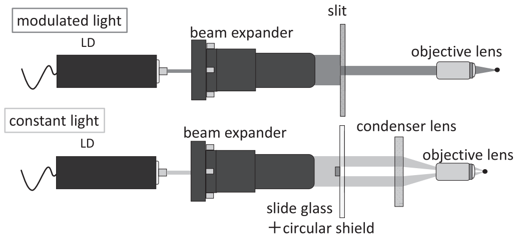


Fig.4 光の照射方法（システム再構築後）

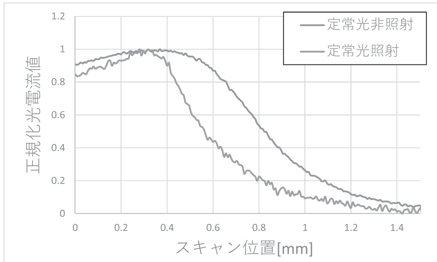


Fig.5 空間分解能測定（システム再構築後）

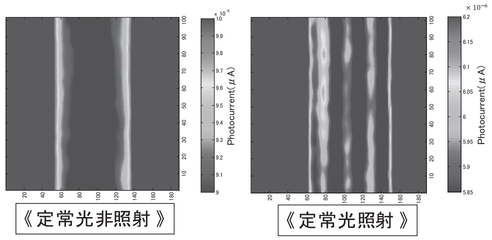


Fig.6 100 µm パターンのイメージング画像

4. まとめ

化学イメージセンサの高解像度化を目的とし、定常光照射型測定システムを構築した。高精度集光と効率的なキャリア拡散の抑制を可能とする測定システムを構築し、空間分解能を向上させることに成功した。今後は本研究の測定システムにおいて、変調光と定常光の焦点の間隔を最適化することで、更なる空間分解能の向上が期待される。

文献

1) D.G. Hafeman et al., Science, 240, 1182-1185 (1988)
2) 関耕介，修士学位論文，東北大学大学院工学研究科(2014)