マイクロ LED 神経プローブ駆動時の脳内温度モニタリング

Temperature Monitoring in brain tissue when driving Micro-LED neural probe 豊技大¹, ALLOS², 獨協医大³, JST さきがけ⁴

 ^o竹内響¹, 安永弘樹¹, 水口公陽¹, 西川敦², A. Loesing², 瀬戸川将³, 大川宜昭³, 関口寛人^{1,4} Toyohashi Tech¹, ALLOS², Dokkyo. Med. Univ.³, JST PRESTO⁴ ^oH. Takeuchi¹, H. Yasunaga¹, K. Mizuguchi¹, A. Nishikawa², A. Loesing², S. Setogawa³, N. Ohkawa³, H. Sekiguchi^{1,4} E-mail: Takeuchi.hibiki.pp@tut.jp, sekiguchi@ee.tut.ac.jp

光を用いて高い時間解像度で神経活動を操作する光遺伝学は脳機能の解明における有効な手法 として注目されている。従来用いられてきた光ファイバによる手法では局所性や多点同時刺激と いった面で課題が存在していたことから、我々はマイクロ LED(µLED)を複数集積した神経プロー ブの開発を進めてきた^[1]。生体デバイスの温度上昇は熱刺激や熱損傷を与えることが知られてい ることから、LED 駆動時の発熱が懸念点として挙げられる。米国医療機器振興協会によれば駆動 時の発熱は 2℃以内に抑制すべきとされている。しかしながら、µLED 神経プローブの開発例は少 なく、このため温度に関する知見は十分には得られていない。そこで、本研究では脳内での温度 上昇を調査するとともに、プローブの温度分布のシミュレーションおよび温度センシングの検討 を行ったので報告する。

GaN-LED/Si ウエハを用いて µLED 神経プローブを作製した。µLED の直径は 50 µm であり、プ ローブの幅,長さ,厚さはそれぞれ 300 µm, 3.3 mm, 80 µm である。マウスから取り出した脳に 開発した LED プローブを刺入し、サーマルカメラを用いて温度上昇を調べた。Fig. 1 に示すよう に電流注入の増加によって温度が上昇することが確認された。0.5 mA 注入時に神経活動を操作す るのに十分な 10 mW/mm² 以上が得られ,外部量子効率は 1.6% であった。COMSOL を用いたシミ ュレーションと照らし合わせたところ同様の傾向がみられ、シミュレーション結果が妥当である ことが確認された。そこで、シミュレーションを用いてプローブの形状や LED 位置によるプロー ブの温度上昇を系統的に調べた。Fig. 2 に LED 位置と温度分布の関係をシミュレーションした結 果を示す。µLED の放熱の多くが Si プローブを介して行われるため、µLED が先端にあるほど温 度上昇する傾向を示した。つまり、脳深部へとアプローチするためには µLED の効率を高めると ともに、LED サイズやプローブ形状の最適化を行い、温度上昇を抑制することが求められる。ま たこのように μLED 駆動時には大きな面内分布で温度上昇が起こるためリアルタイムにプローブ の温度をモニタリングする必要がある。そこで、LEDの駆動電圧の温度依存性を用いた温度セン シングを検討した。事前実験として環境温度に対する駆動電圧変化を調査した。Fig.3の挿入図に 示すように,-3.4 mV/℃で温度上昇を検出できることを確認した。15 秒周期で LED をオンオフし ながら,大気中における1mΑ 注入時の LED 駆動電圧の時間的変化を評価した。Fig. 3 に示すよ うに,駆動時間に対する駆動電圧の変化が観察され,3℃程度の温度変化が予想された。これはLED を活用することで温度モニタリングが可能であることを示唆する結果である。

参考文献: [1] H. Yasunaga, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 60, 016503 (2021).

謝辞:本研究の一部は,JST さきがけ(JPMJPR1885),村田学術振興財団,大幸財団,光科学技術研 究振興財団の援助を受けて行われた。





Fig. 2 Temperature distribution along probe at different LED position

