

# 高エネルギー分解能EELSの 半導体局所キャリア濃度評価への適用

Application of high energy resolution STEM-EELS for  
the evaluation of local carrier electron density in semiconductor devices

▶ **ユーザー氏名** 川崎 直彦, 稲元 伸, 大塚 祐二 / Naohiko Kawasaki, Shin Inamoto, Yuji Otsuka  
(株) 東レリサーチセンター 形態科学研究部 / Morphological Research Lab., Toray Research Center, Inc.)

▶ **実施機関担当者** 治田 充貴, 倉田 博基 / Mitsutaka Haruta, Hiroki Kurata  
京都大学 化学研究所 / Institute for Chemical Research, Kyoto University)

## KEY WORDS

Monochromated EELS, Scanning transmission microscope, carrier plasmon, carrier electron density, thin-film transistor, IGZO

## 概要 | Overview

半導体デバイスの微細化により、ナノレベルでの局所的なキャリア濃度評価に対する要望が高まっており、それを実現できる実験手法が渴望されている。我々は、電子エネルギー損失スペクトル(EELS: Electron Energy Loss Spectroscopy)において近赤外領域に現れるキャリアプラズモンピークに注目し、モノクロメータを搭載した透過電子顕微鏡による高エネルギー、高空間分解能EELSを用いて、実デバイスの局所キャリア濃度に関する知見を得た。

The demand for the evaluation of local carrier density with nano-meter spatial resolution has grown in the continually scaled down trend of semiconductor devices. To take use of carrier plasmon peak of EELS (Electron Energy Loss Spectroscopy) in near infrared region, we got monochromated STEM-EELS spectra with high spatial and energy resolution so that we investigated the local carrier electron density in an actual semiconductor device.

## モノクロメータ搭載原子分解能電子顕微鏡

Atomic resolution electron microscope with monochromator

モノクロメータを搭載した高エネルギー分解能STEM-EELS(図1)により、これまで測定が困難であった近赤外領域のスペクトル計測が可能になった。このエネルギー領域では、ゼロロスピークの裾付近に微弱な信号が現れるため、スペクトルを高いS/N比で計測する必要があるが、本課題実施機関が独自に開発したスペクトル計測・処理法(M. Haruta, et al., Ultramicroscopy, 207, 112827 (2019))を適用することにより、半導体のキャリア電子の集団励起であるプラズモン励起の測定に成功した。



図1. モノクロメータ搭載低加速原子分解能分析電子顕微鏡

## キャリアプラズモンピークの検出とキャリア電子濃度の算出

Detection of carrier plasmon peaks and carrier electron density estimation

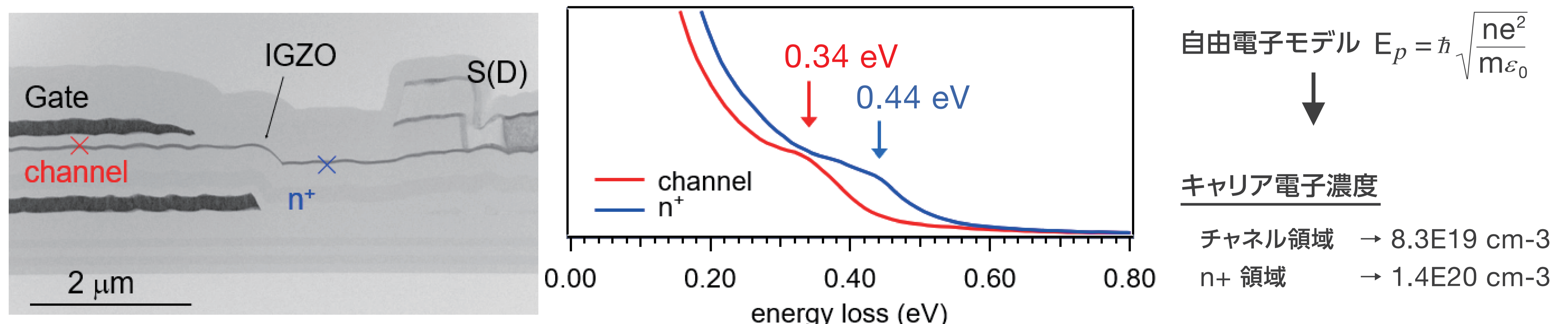


図2. IGZO-TFTから取得した高エネルギー分解能EELSスペクトルおよびキャリアプラズモンピーク位置から計算したキャリア電子濃度

図2に示すように、薄膜トランジスタ(TFT)の断面において、酸化物半導体薄層(IGZO:InGaZnO)のうち、チャンネル領域、低抵抗(n<sup>+</sup>)領域でEELSスペクトル取得した。チャンネルIGZOで0.34 eV、低抵抗(n<sup>+</sup>)IGZOで0.44 eV付近にキャリアプラズモンが認められ、自由電子モデルを適用すると、キャリア電子濃度は $8.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (チャンネル領域)、 $1.4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ (低抵抗(n<sup>+</sup>)領域)と見積もられた。半導体デバイスの局所的なキャリア電子濃度を直接に調べる手法として高エネルギー、高空間分解能EELSが有用であると示すことができた。今後は、Siや化合物半導体などで作られる様々なデバイスでの評価に用い、それぞれで要求されるキャリア濃度の検出下限に対して測定条件の最適化を図り、デバイス製造プロセスでの実際の課題解決に役立てたい。