

時間分解二光子光電子分光法を利用した GaAs(110)における表面再結合に伴う非輻射再結合寿命の評価 Precise detection of carrier lifetime limited by surface-recombination processes in GaAs (110) using time-resolved two-photon photoemission spectroscopy

阪大電顕センター¹, 阪大院工² °市川 修平^{1,2}, 保田 英洋^{1,2}

¹Osaka Univ., ²Research Center for UHVEM, Osaka Univ.,

°Shuhei Ichikawa^{1,2}, Hidehiro Yasuda^{1,2}

E-mail: ichikawa@uhvem.osaka-u.ac.jp

【はじめに】半導体光デバイスやパワーデバイスにおいて、近年キャリア輸送特性に関する研究が盛んに行われている。現状のキャリア再結合寿命の評価手法として、時間分解フォトルミネセンス法やマイクロ波光導電減衰法等が用いられているが、これらの評価手法による検出信号は試料深さ方向の影響を強く受けるため、表面再結合の影響を切り分けたキャリア寿命の測定は容易ではない。また、表面再結合は通常バンド間遷移に比べて極めて速い非輻射再結合過程であるため、高い時間分解能を有する測定が必要となる。本研究では、表面に敏感な紫外光電子分光測定において、フェムト秒パルスレーザーをポンプ・プローブ光に用いることで時間分解二光子光電子分光測定系(Tr-2PPE)を構築し、un-doped GaAs(110)表面に励起された電子の短寿命緩和過程を評価したので報告する。

【実験・結果】un-doped (100) GaAs 基板の裏面を、ダイヤモンドスクライバを用いて[110]に沿ってけがいた後に、真空チャンバー内に導入した。試料導入後、ロードロックチャンバー内($\sim 9.5 \times 10^{-5}$ Pa)で劈開することで、清浄な GaAs(110)表面を露出させた。劈開後の試料は大気に暴露させることなく、速やかに測定チャンバー($\sim 1.0 \times 10^{-7}$ Pa)に移動させ、Tr-2PPE 測定を行った。測定後に GaAs 表面を大気暴露させ、自然酸化膜の形成を促したのちに再度チャンバーに導入して Tr-2PPE 測定を行った。励起光源として Ti:Sapp レーザ(パルス幅: ~ 100 fs、繰り返し周波数: 80 MHz)を用い、ポンプ光として基本波(波長 800 nm, 46 nJ/cm²)を用いて GaAs(110)表面を励起し、第三高調波(波長 267 nm, 6.0 nJ/cm²)を光電子放出のためのプローブ光として試料に照射した。各パルスの光路差を制御することで高い時間分解能を有する Tr-2PPE 系を作製した(ポンプ・プローブ光の相互相関幅 ~ 175 fs)。光電子の検出には VG SCIENTA 社製 SCIENTA R3000 を用い、光電子分光測定は全て室温で行った。

各試料に対して Tr-2PPE 測定を行い、十分光路差が長いときに得られた光電子スペクトルからの差分をとることで二光子光電子スペクトルを取得した。一例として、大気暴露後の GaAs(110)表面における差分二光子光電子スペクトルの遅延時間依存性を Fig. 1 に示す。正方向の遅延時間では、基本波により伝導帯下端($E \sim E_c$)から僅かに高エネルギーに励起された電子が、第三高調波による再励起によって試料外に取り出される。遅延時間の増加に伴い光電子強度は減少しており、励起電子が時間共に緩和していることが分かる。Fig. 2 に、大気暴露前後における伝導帯下端($E \sim E_c$)付近に励起された電子に対する光電子強度の減衰曲線を示す。指数関数フィットにより得られた減衰寿命は清浄表面で 510 ps、大気暴露後で 230 ps 程度であり、いずれの値も、通常バンド間遷移によるキャリア再結合寿命と比較して極めて高速であることから、表面再結合に伴う SRH 型再結合による伝導帯電子の非輻射再結合寿命を反映したものであると考えられる[1]。さらに、GaAs 表面に自然酸化膜が形成されると、表面再結合速度が増大し、緩和寿命の著しい短寿命化が観測された。これらの結果から、非輻射遷移過程が支配的な試料表面において、Tr-2PPE 測定により電子緩和寿命の高精度測定が可能であることが分かり、表面再結合速度の同定に本手法が極めて有用であることが明らかになった。

【謝辞】本研究の一部は、超顕微科学研究拠点事業(2016–2022 年)および JSPS 科研費 (No. 18K13791) の支援を受けて行われたものである。

[1] K. Fukumoto, Y. Yamada, S. Koshihara, and K. Onda, *Appl. Phys. Express* **8**, 101201 (2015).

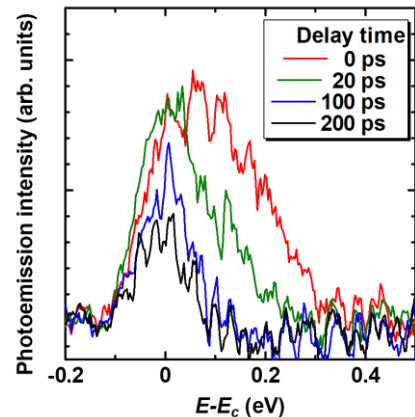


Fig. 1: Time-dependent 2PPE spectra of GaAs (110) at room temperature.

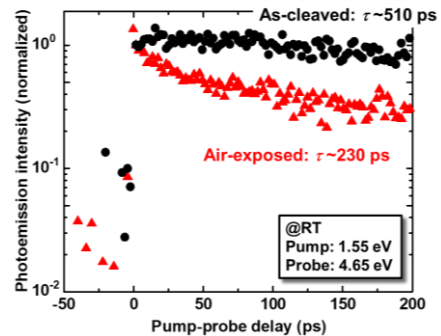


Fig. 2: Tr-2PPE decay curves of GaAs (110) for excited-electrons at conduction band minimums.