

大電流動作・ビーム集束・マトリクス 駆動が可能な電界放出型電子源

産業技術総合研究所

ナノエレクトロニクス研究部門

カスタムデバイスグループ

研究グループ長 長尾 昌善

2019年7月2日

従来技術とその問題点

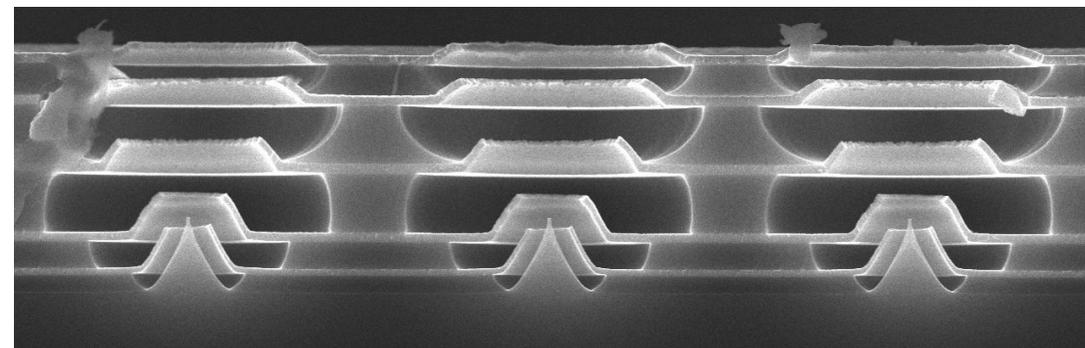
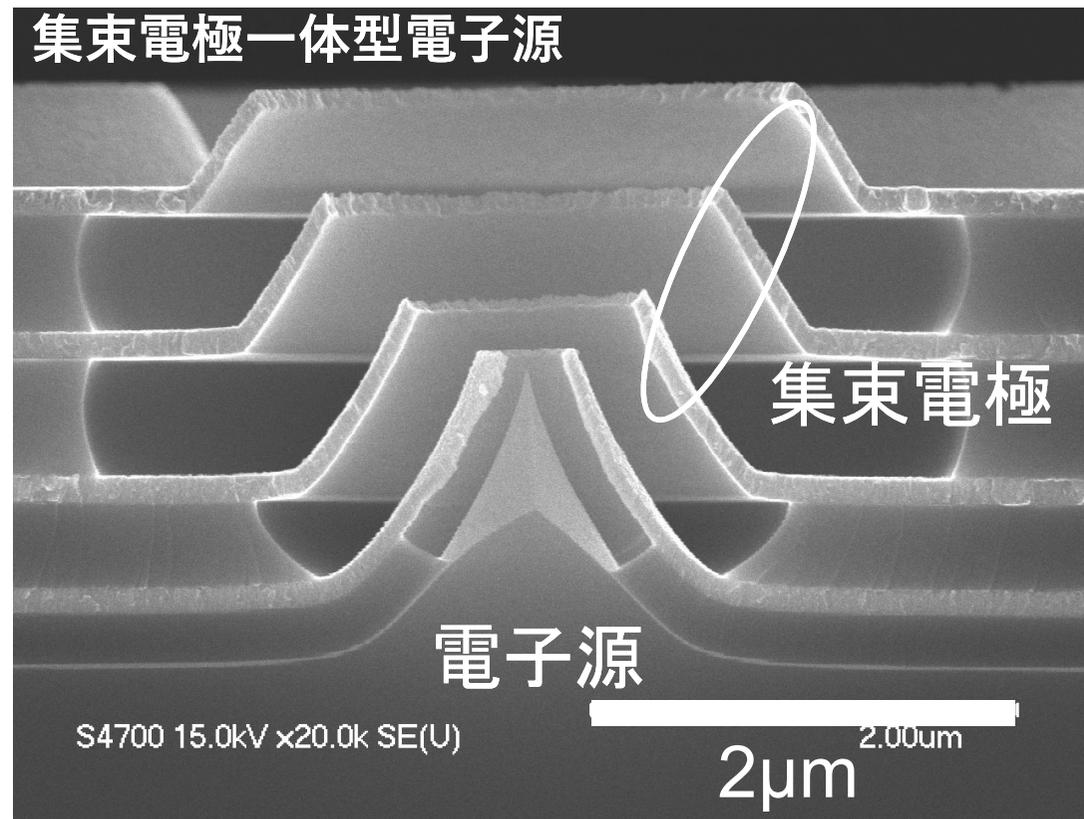
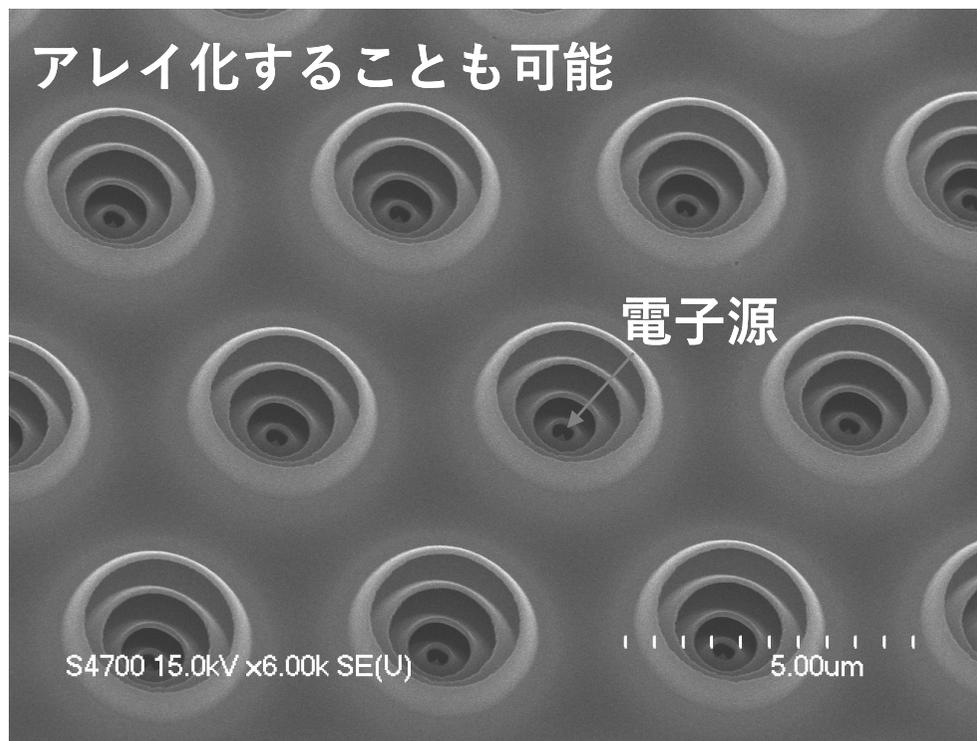
- 熱電子源は簡便であるが、ヒーターが必要であり、インスタントオンできないため、使用しないときも常にヒーターを入れておく必要があった。
- 従来の電界放出型の電子源は、熱は必要ないものの、電子ビームの発散角が大きいという課題があった。

新技術の特徴

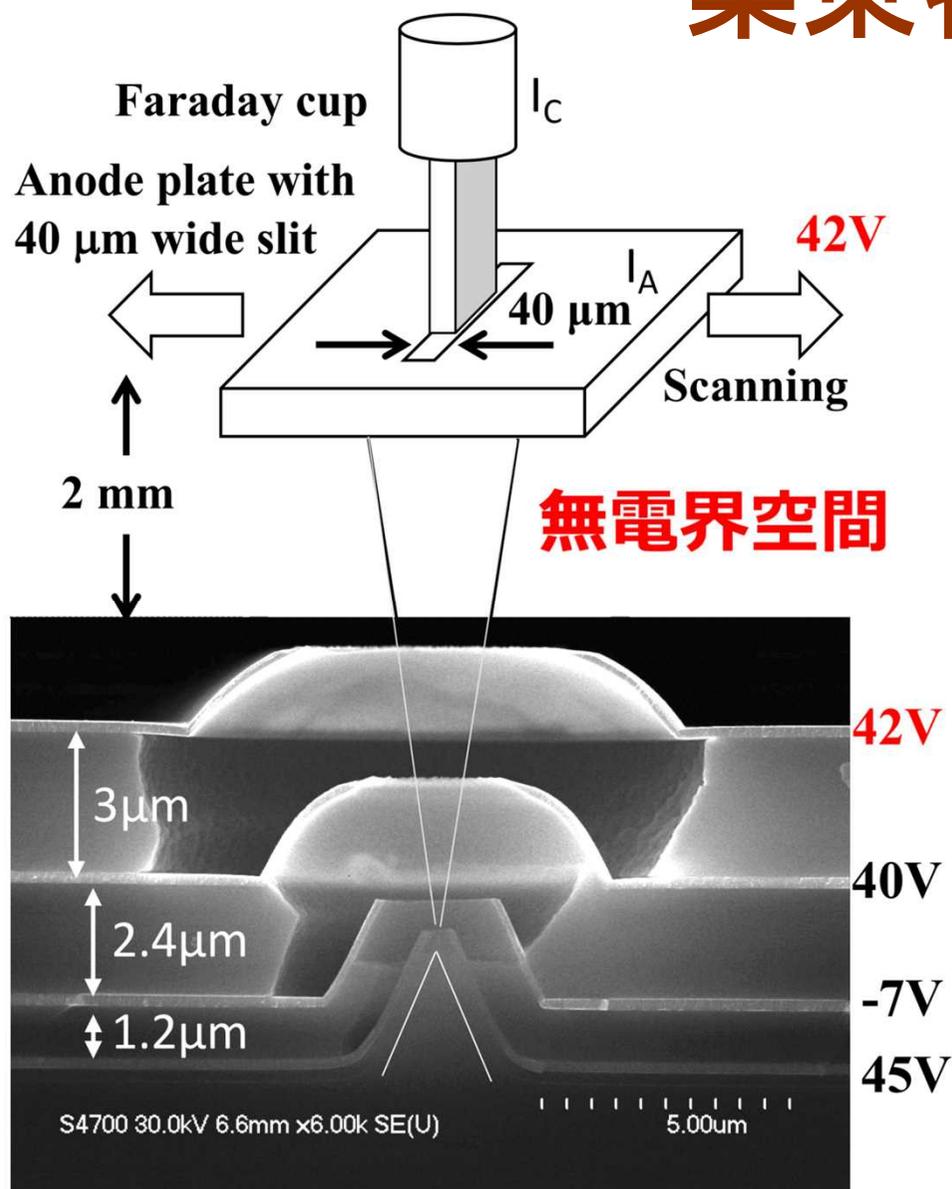
- この研究成果は、大電流密度、ビーム集束、マトリクス駆動が可能な電子放出デバイスを実現します。
- 電子を集束する電子源と、電子ビームを集束させるための集束電極を一体集積することで、従来不可能であったマトリクス駆動とビーム集束の両立を実現しました。
- 新材料を使う事で、大電流密度、長寿命の動作も実現しました。

集束電極一体化技術

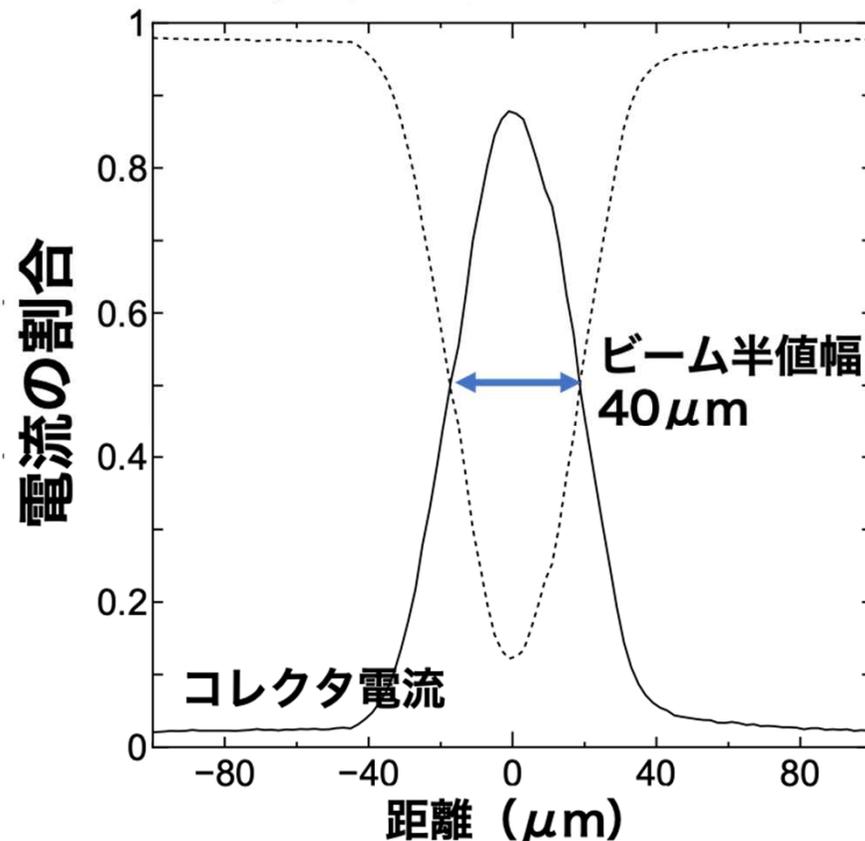
多段の集束電極を集積する技術を開発しました。これにより、電子ビームの集束を実現します



集束特性の例

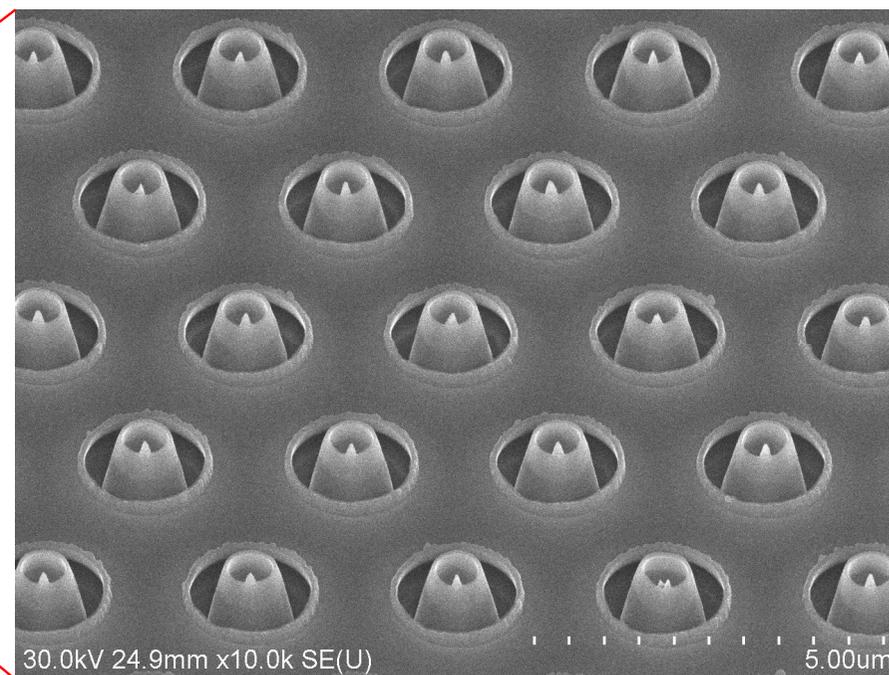
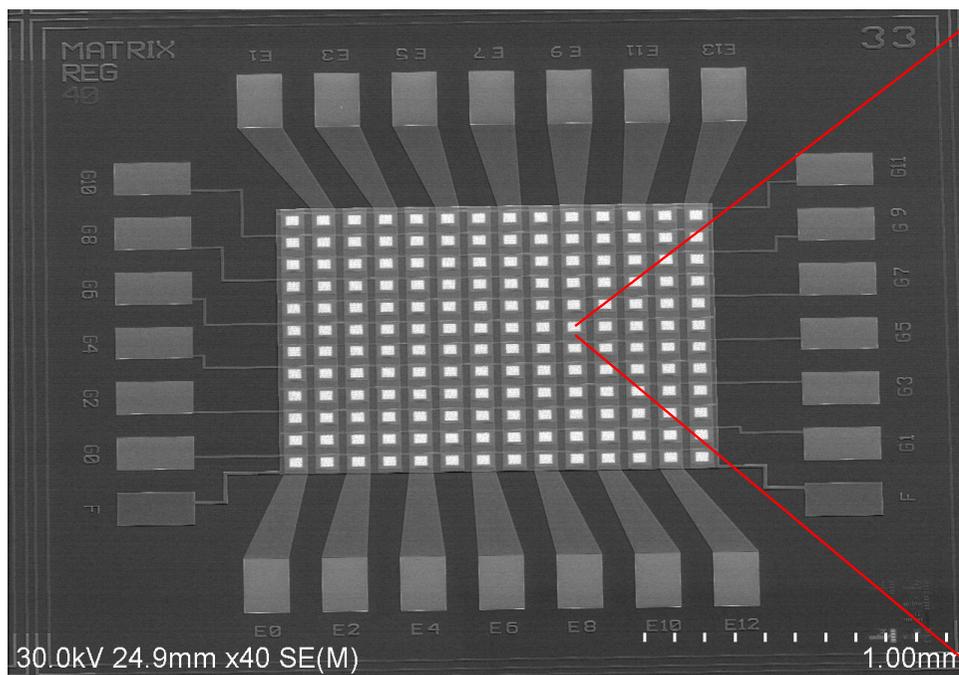


- ビーム半値幅: $40 \mu\text{m}$
- 広がり角(半角): 0.6°
- 距離を2~3mmに変わってもプロファイルは変わらず = 平行ビーム

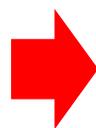


レンズがなければ半角 30° の発散 \rightarrow レンズの一体化で 1° 以下に集束

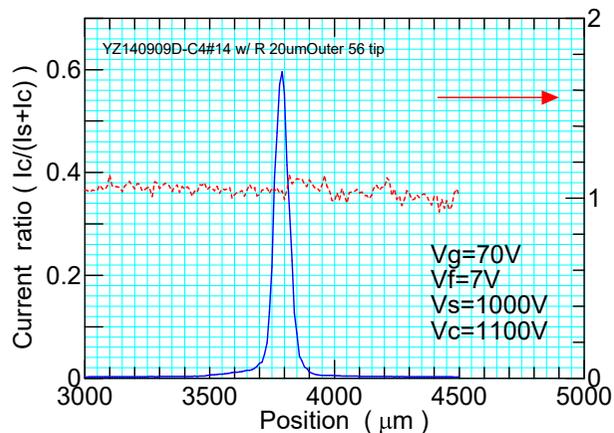
マトリクス駆動とビーム集束の両立



マトリクス駆動用は構造上、集束電極を多段に集積するのは困難



電極の形状・配置を工夫して、1枚の集束電極でも十分な集束特性を実現。

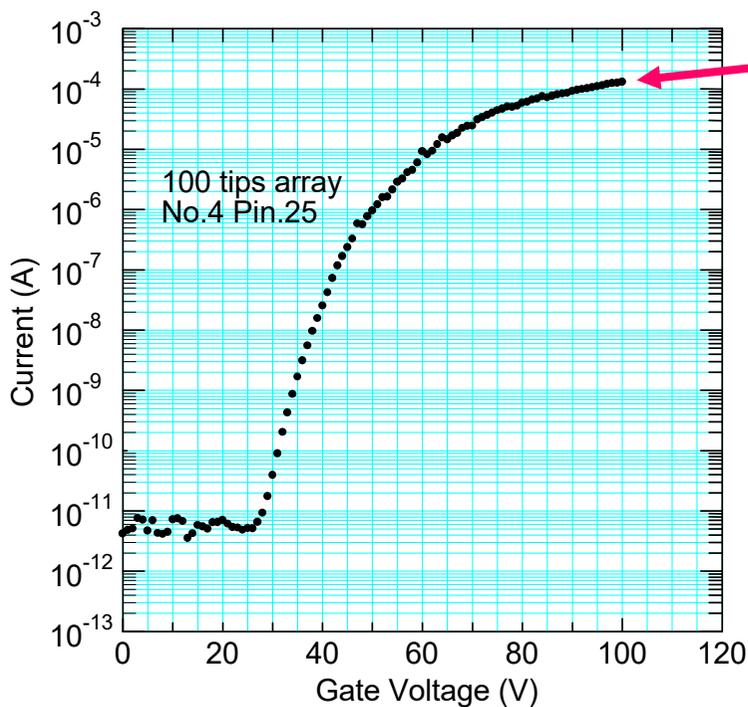


20μmの領域から放出された電子ビームが1mm離れた場所で50μm以内に集束できている(開き角1.6°)

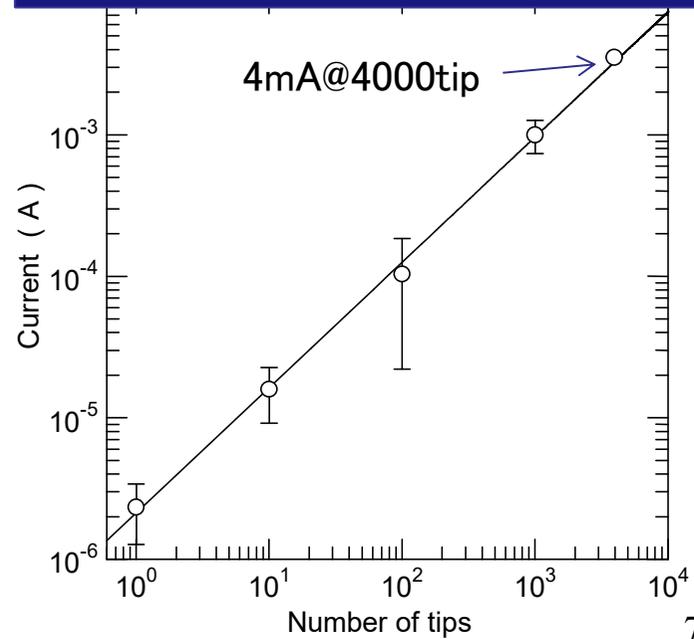
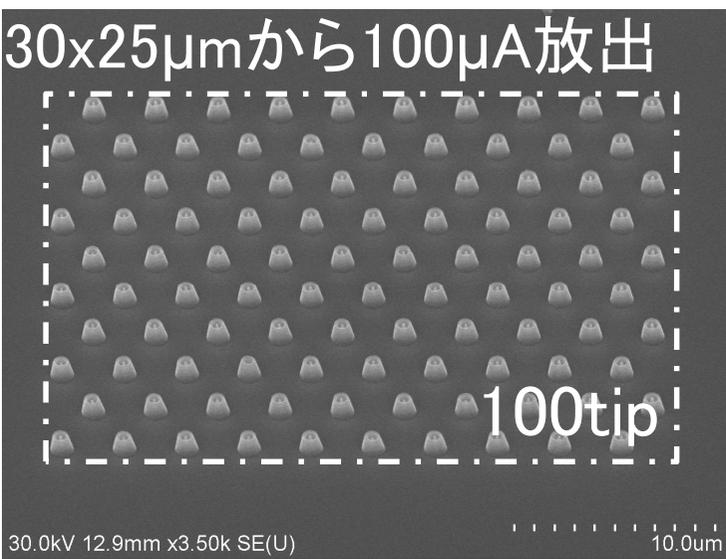
マトリクス駆動 + 集束電極でも大電流動作

- これまで、集束電極の一体化とマトリクス駆動を両立する電子源は、作製プロセスの複雑さから材料がニッケルに限られていた。
- ニッケルエミッタは大電流動作中に過電流で破壊に至るという課題があった。
- 新開発の合金をエミッタ材料とすることで、本研究の作製方法が適用でき、かつ大電流化を実現。コンスタントに $10\text{A}/\text{cm}^2$ (従来の一桁上) を超える電流密度が得られる。

チップ数を増やせば、数に比例して大電流動作が可能



100tipで $100\mu\text{A}$ 放出
電流密度: $13.8\text{ A}/\text{cm}^2$

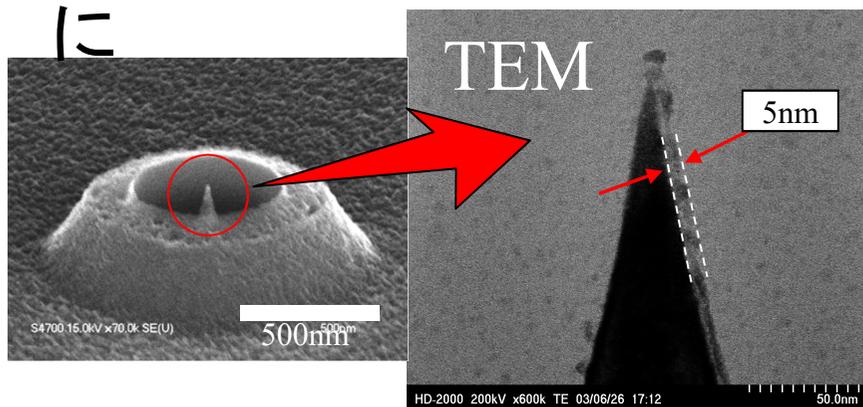


大電流密度と長寿命を実現する電子原材料

シリコンエミッタにHfCを5nm程度コーティングするだけで、

- 10mA (2.5A/cm²) の大電流動作実現
- DCで9,000時間程度連続運転可能

に

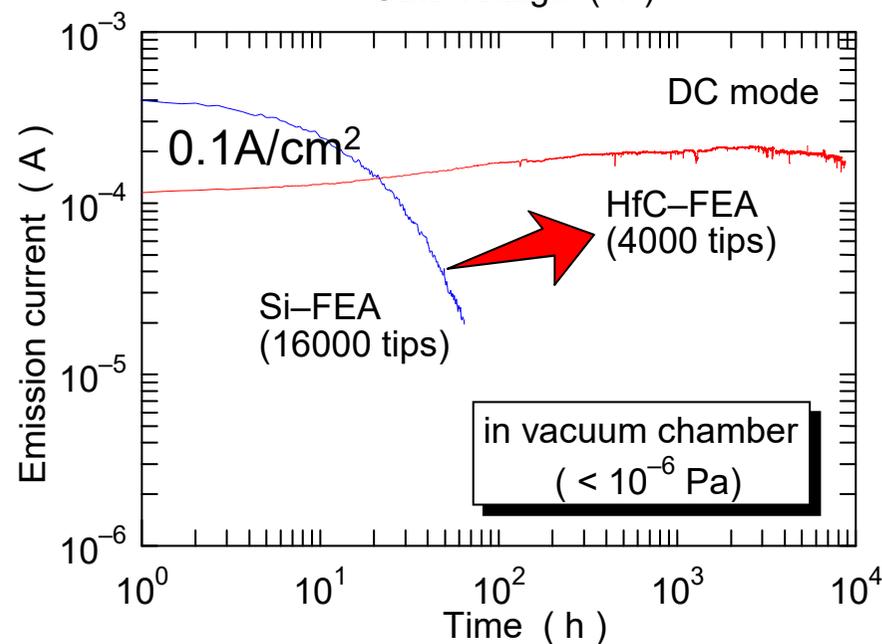
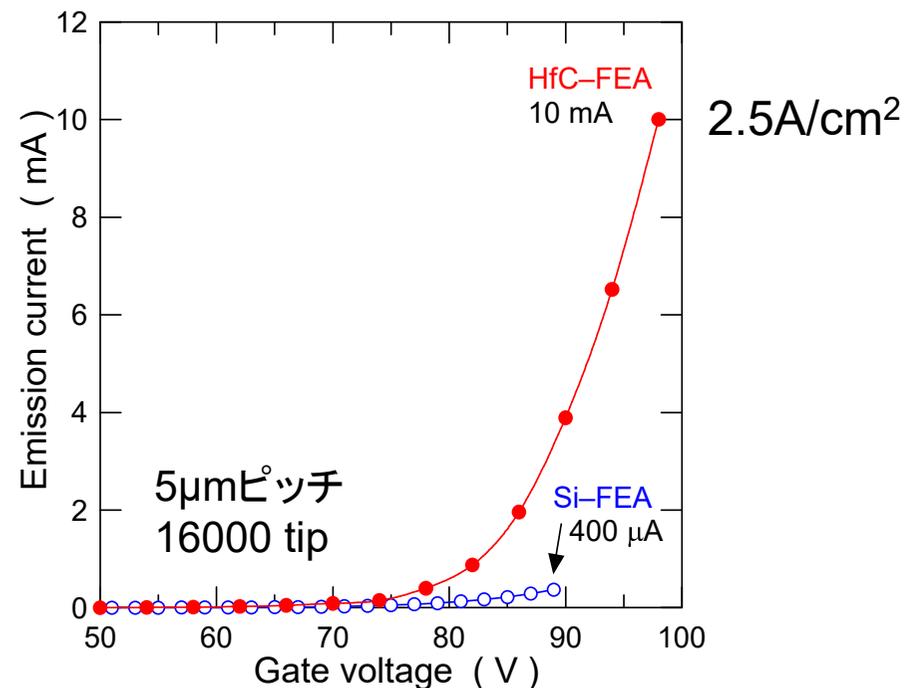


- HfC の物性 -

融点 : 3800°C

仕事関数 : 3.6eV

不活性 (化学的に安定)

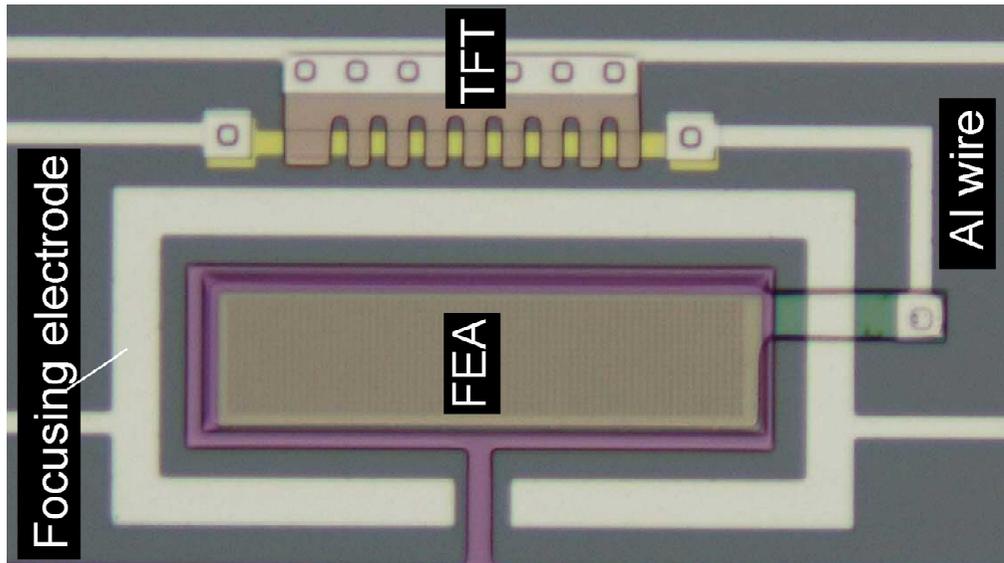


T. Sato et al., JVST B 21 No.4 (2003) 1589.

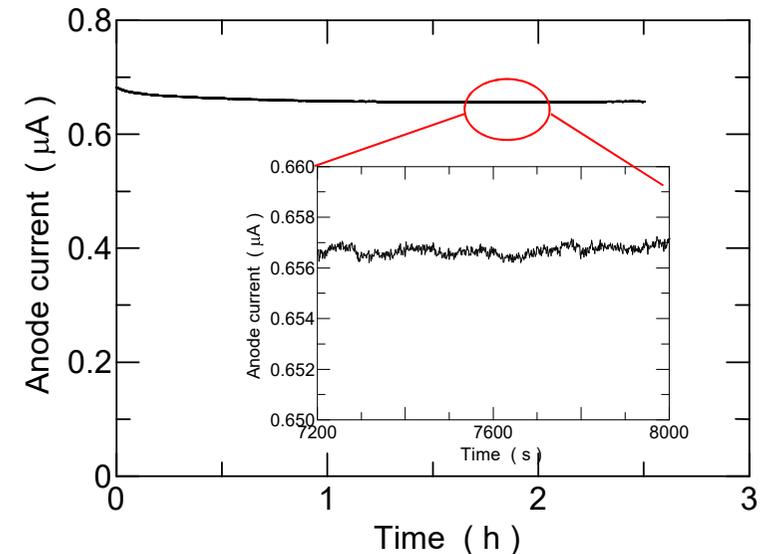
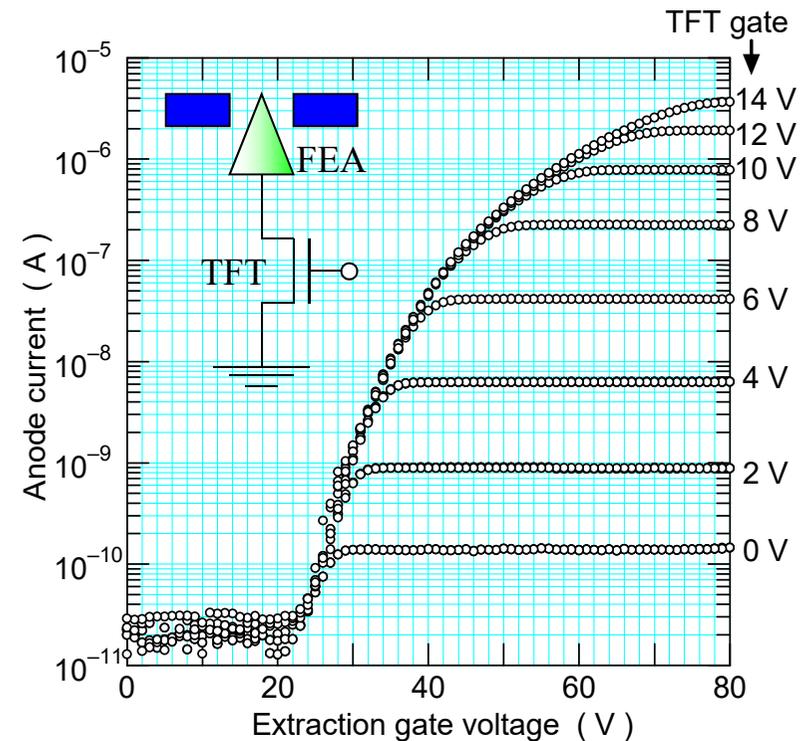
M. Nagao et al., JJAP 44 No.7B (2005) 5740.

D. Nicolaescu et al., JVST B 23 No.2 (2005) 707.

トランジスタとの集積で安定化も可能



- 放出電流はTFTにより完全に制御
- OFF電流 < 0.2nA
- スイッチング電圧: 10-15 V
- 電流変動率: 0.18%

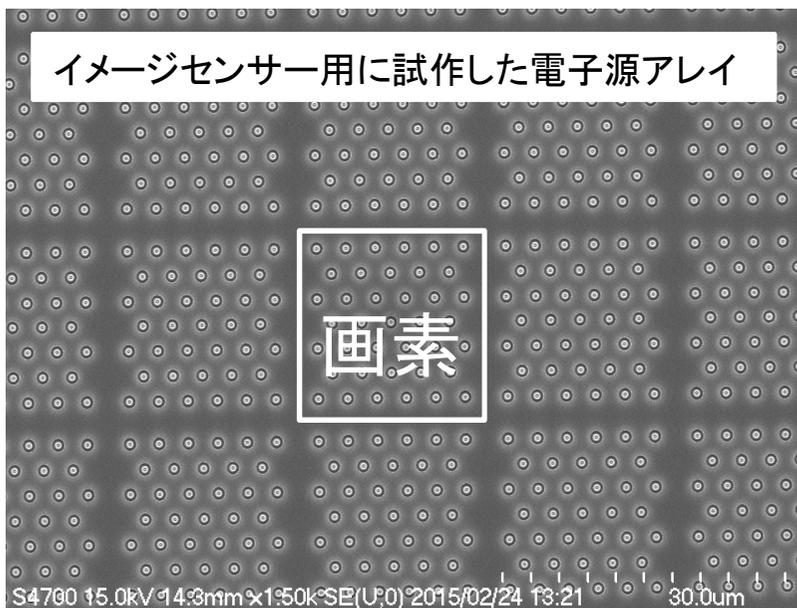
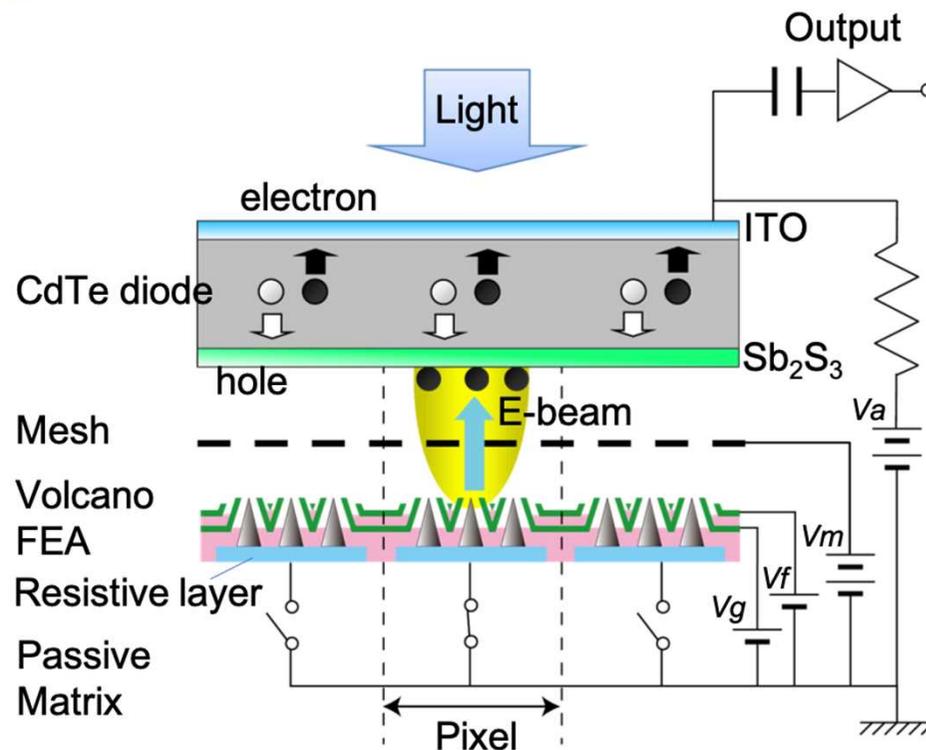


想定される応用例①電子顕微鏡など

- ・ 電子顕微鏡の電子銃を、集束電極付き電子源に置き換えることで、初段のレンズが必要なくなり、電子顕微鏡のコストダウンに繋がると期待
- ・ 電子源をシリコン基板上に多数作製しておき、電子源の寿命が来れば、(レボルバーのように)基板の位置を変えるだけで電子源交換が可能に。電子銃交換のために大気開放する必要がなくなり、装置を殆ど停止することなく、連続運転が可能となると期待

想定される応用例②イメージセンサー

- 光電変換膜で発生した光信号をマトリクス電子源で読み出す方式
- 半導体を使わないので、放射線が飛来するような所でも使えるイメージセンサーへの応用が期待できる。
- これまでに、1MGy以上の耐放射線性を確認(通常の撮像素子の千倍)

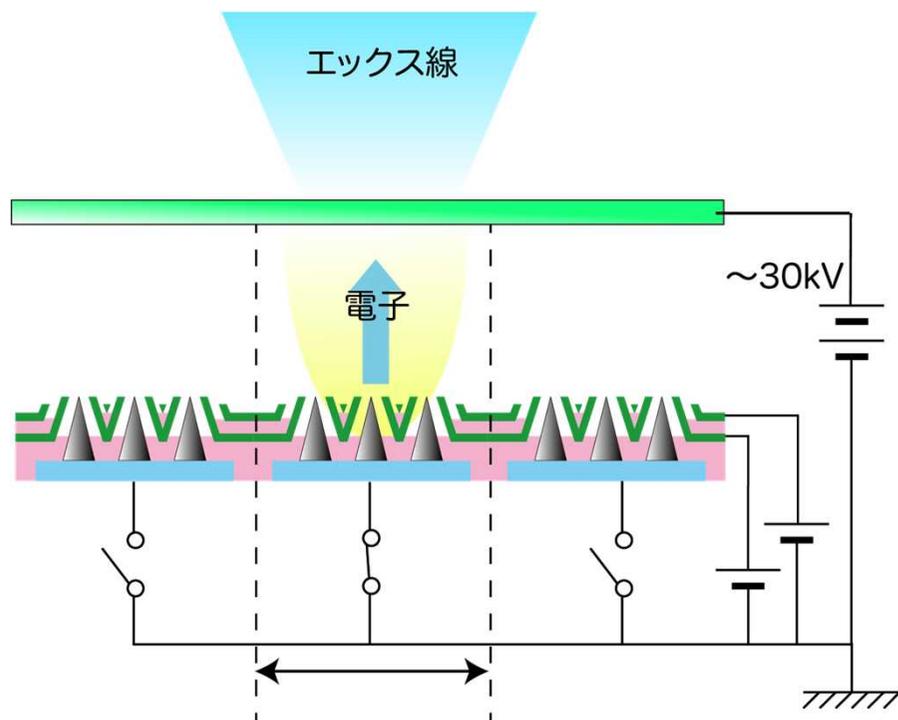
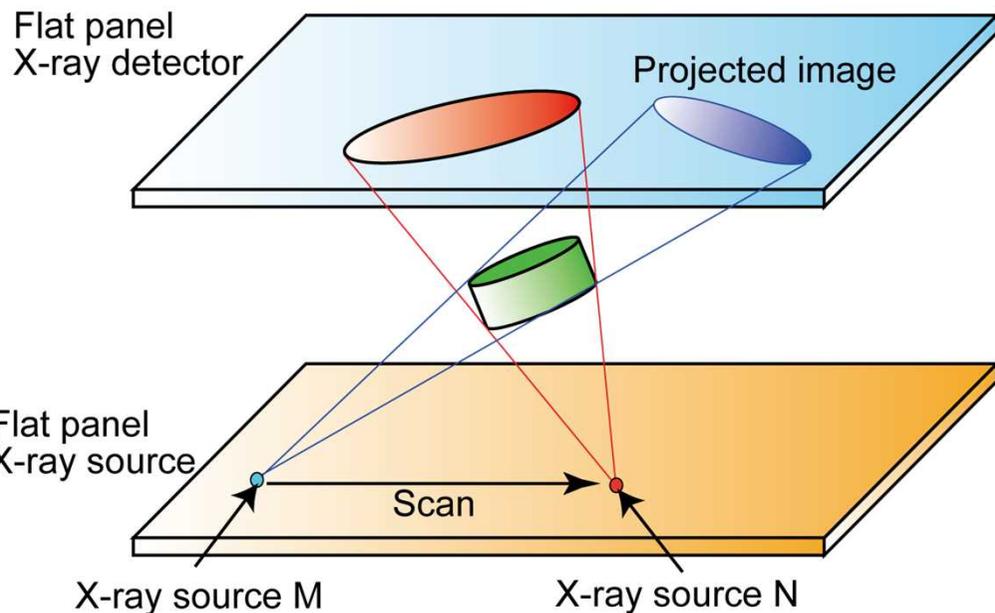


X線に感度のある光電変換膜を使うとフラットパネルX線デテクターにもなる

超高感度イメージセンサーへの適用例は
Y. Honda et al., IEEE Trans. Electron Dev. 63 (2016) 2182.
Y. Honda et al., JVSTB 34 (2016) 052201.

想定される応用例③マトリクス駆動X線源

- マトリクス駆動と大電流動作をくみあわせて、マトリクス駆動のX線源が実現可能
- マトリクス駆動X線源とフラットパネルディテクタを組み合わせるとX線CTシステムに



点順次にX線源を駆動して、得られた映像を再構成することで、被写体を回したり、線源を回したりすることなく、高速にCT画像が取得可能

実用化に向けた課題

- ・ 現在、マトリクス駆動・ビーム集束・大電流・長寿命など個別の要素技術は開発し、いくつかの組み合わせも達成。
- ・ しかし、「全て同時に」はまだ達成できていない。
- ・ デバイス構造の工夫、エミッタ材料の最適化で解決できると考えている。
- ・ 放電破壊も課題として残っているが、放電破壊を防ぐ技術も開発中。

企業への期待

- ・ 電子源アレイの様々な技術を開発してきた。
- ・ それらの技術を組みあわせることでアプリケーションにあわせた電子源が開発可能と思われる。
- ・ 様々なアプリケーションに向けて、開発要素を明確にし、課題克服に向けた連携を期待
- ・ イメージセンサー応用やX線CTシステムに関しては、パネル化・システム化技術を持つ、企業との連携を期待

本技術に関する知的財産権

- ① 発明の名称 : 集束電極一体型電界放出素子及びその作製方法
 - 登録番号 : 特許第5062761号
 - 出願人 : 産業技術総合研究所
 - 発明者 : 長尾昌善、吉田知也、金丸正剛
- ② 発明の名称 : 電界放出素子および電界放出素子を備える装置
 - 公開番号 : 特開2017-183180
 - 出願人 : 産業技術総合研究所
 - 発明者 : 長尾昌善、吉澤俊一

お問い合わせ先

産業技術総合研究所

イノベーション推進本部

ベンチャー開発・技術移転センター

技術移転マネージャー 小島 芳和

TEL 029-862-6349

e-mail y-kojima@aist.go.jp