

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360156

研究課題名（和文）新構造静電レンズ一体型電界放出微小電子源の開発

研究課題名（英文）Study of a novel field emitter with a built-in electrostatic lens.

研究代表者

三村 秀典 (Mimura Hidenori)

静岡大学・電子工学研究所・教授

研究者番号：90144055

研究成果の概要（和文）：集束電極が電子引き出し電極の周りに配置され、エッチバック法で集束電極の高さを容易に制御できる新構造静電レンズ一体型電界放出微小電子源を提案した。この新構造静電レンズ一体型電界放出微小電子源において、集束電極の高さを電子引き出し電極に対して、マイナス側にすることにより、集束電極に電子引き出し電極より低電圧を印加する集束動作を行っても、微小電子源のティップ先端の電界強度が減少せず、そのためアノード電流の減少が極めて少なく、かつ電子ビームの集束が行えることがわかった。また、この電子源からの電子ビームはビームの対称性も極めて良いことが分かった。

研究成果の概要（英文）：We have proposed a novel field emitter with a built-in electrostatic lens. This field emitter is fabricated by the etch-back method. The focusing electrode is located around the extraction gate electrode and its height is easily controlled. We have fabricated the field emitter whose focusing electrode is located below the extraction gate electrode. Such the field emitter has an excellent focusing characteristic without significant decrease of the emission current, even under the strong focusing condition. The electron beam emitted from the developed field emitter shows good symmetry.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究代表者の専門分野：真空ナノエレクトロニクス

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：電界放出電子源、集束、ダブルゲート電子源、静電レンズ、電子ビーム

1. 研究開始当初の背景

熱電子源にない優れた特長（ミクロンサイズ、低消費電力、放出電子の小さなエネルギー広がり、高電流密度）を有する、半導体微細加工技術を用いて製作する電界放出微小電子源は、その構造よりアノードに到達する電子ビームが数百ミクロン以上の空間的な

広がりを持つという欠点を有している。そのため、微小電子源アレイ (FEA) を用いたディスプレイである FED が、LCD の約半分という低消費電力から、スーパーハイビジョン (7,680×4,320 画素) 用ディスプレイの最有力候補と見なされているにもかかわらず、現実には数十ミクロン以下のサブ画素サイズ

(3つのサブ画素で1画素を構成)を実現できないという問題に直面している。また、微小電子源からの電子ビームで光画像を読み出すHARP-FEA超高度撮像素子では、電子ビームの広がりが大きいため、ハイビジョン(1080x1920画素)用の撮像素子を実現することができず、やむおえず素子の外部に永久磁石を配置し、電子ビームを絞っている。永久磁石を配置したのでは、小型軽量化が難しく、微小電子源を用いるメリットがない。このように、電界放出微小電子源で外部電子レンズを用いずに放出電子ビームを絞ることは電界放出微小電子源の応用上最も重要な課題である。

放出電子ビームを絞ることができる電子源として集束電極付き積層構造ダブルゲート微小電子源が、また平面構造ダブルゲート微小電子源が本研究代表者などから報告されている。しかし、積層構造ダブルゲート微小電子源で電子ビームを集束するために、上部の集束電極に下部の電子引き出し電極より低電圧を印加すると、その低電圧によりティップ先端の電界強度が弱まり、放出電流が著しく減少するという問題がある。また、平面構造ダブルゲート微小電子源では集束時の放出電流の減少は小さいが、電子源の構造の回転対称性が悪いため、放出電子ビームがひずむという問題がある。さらに、特に積層構造ダブルゲート電子源は、製作が極めて難しく、そのため集束電極付きダブルゲート微小電子源は実用には使えないと認識されてきた。本研究は、このような背景のもとで、着想された。

2. 研究の目的

積層構造ダブルゲート微小電子源と平面構造ダブルゲート微小電子源のお互いの長所を取り入れ、また比較的簡単なプロセスで実現できる新構造静電レンズ一体型電界放出微小電子源を開発するものである。集束時にでも、放出電流の減少が少なく、電子ビームを絞れることができ、ビーム対称性の良い、従来の静電レンズ一体型電界放出微小電子源の欠点をすべて克服した新構造静電レンズ一体型電界放出微小電子源を開発する。

3. 研究の方法

エッチバック法を用い、図1(a)、(b)、(c)に示す新構造静電レンズ一体型電界放出微小電子源を製作する。通常の積層構造ダブルゲート微小電子源と比較すると、集束電極が電子の引き出しゲート電極の回りに配置され、通常の積層構造ダブルゲート微小電子源のように真上に配置されておらず、集束電極に印加される低電圧がエミッタティップ先端に影響を及ぼし難い構造となっている。

このような新構造静電レンズ一体型電界放出微小電子源で、集束電極の高さを電子引き出し電極に対して、プラス側またマイナス側にした試料を製作し、その集束特性(ビーム径とアノード電流)と集束電極の高さとの関係を調べる。図1(a)は集束電極の高さが電子引き出し電極に対して220nm高い場合、(b)は同じ高さの場合、(c)は-470nm低い場合である。

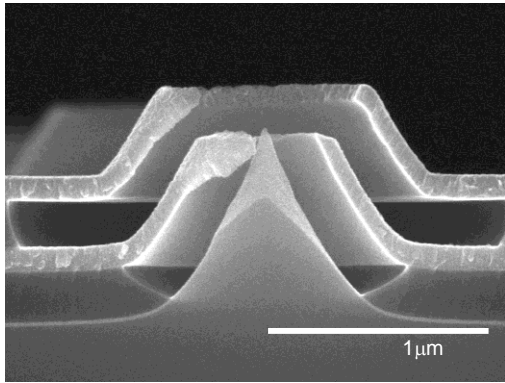
4. 研究成果

図2に図1の各エミッタから放出された電子ビームの直径とアノード電流を示す。アノードは蛍光体をコートしたITO付ガラスで、エミッタから2mmの距離に配置した。電子ビームの直径は蛍光体の発光領域とした。アノード電圧は1kVである。この測定では、電子引き出し電極の電圧を60V一定とし、集束電極の電圧を60V(非集束)から0Vまで減少させて測定した。集束電極の電圧を減少させるに従い、ビーム径が減少しており、いずれのエミッタでも電子ビームが集束していることが分かる。しかし、図2に示すように、集束電極の高さが電子引き出し電極に対して220nm高い場合は、集束電極の電圧を減少させるに従い、アノード電流が急激に減少していることがわかる。これは、エミッタティップ先端の電界強度が、集束電極の低い電圧の影響を受けて、低下するためである。一方、集束電極の高さが電子引き出し電極に対して470nm低い場合は、集束電極の電圧を減少させても、アノード電流がほとんど減少していないことがわかる。これは、電子の引き出し電極が集束電極より高いため、集束電極の低電圧を引き出し電極が遮蔽し、エミッタティップ先端の電界強度が、集束電極の低電圧の影響を受けないためである。集束電極と電子引き出し電極の高さが同じ場合は、220nm高い場合ほどではないが、集束電極の低い電圧の影響を受けて、アノード電流が減少していることが分かる。

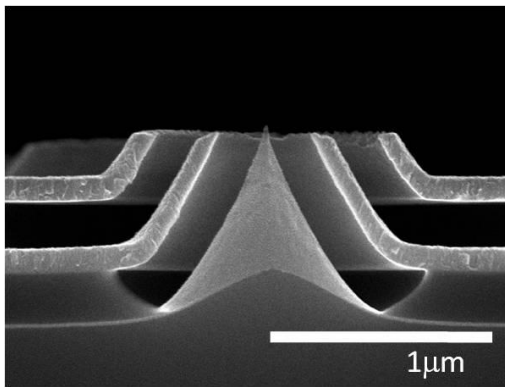
図3に集束電極の高さが電子引き出し電極に対して470nm低い場合の、集束電極の電圧(Vf)に対する、アノードにおける電子ビームの発光イメージとアノード電流値を示す。電子の引き出し電極の電圧は60Vである。Vf=5Vでもアノード電流1.15 μ Aを維持している。

以上のように、集束電極の高さを電子引き出し電極に対して、マイナス側にすることによって、集束電極に電子引き出し電極より低電圧を印加する集束動作を行っても、微小電子源のティップ先端の電界強度が減少せず、アノード電流の減少が極めて少なく、かつ電子ビームの集束が行える電子源を開発できた。

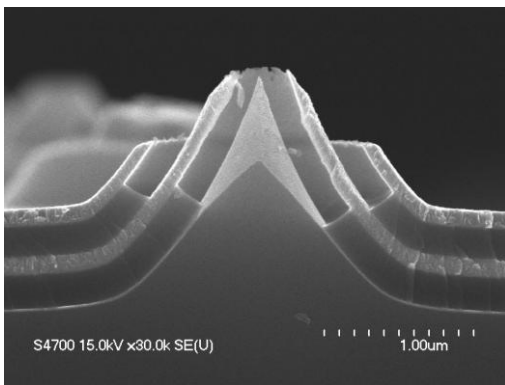
なお、今回開発したエッチバック法を用いることにより、4段や5段のゲート電極を持ち、静電ポテンシャルレンズ(einzel レンズ)を一体形成した多段ゲート電界放出微小電子源の製作も行った。これらは、次の科学研究補助金基盤研究(A)で開発を行い報告する予定である。



(a)



(b)



(c)

図1 開発した新構造静電レンズ一体型電界放出微小電子源の断面構造図。

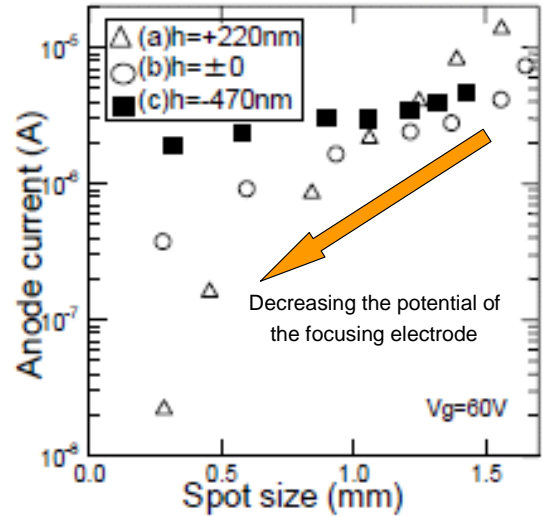
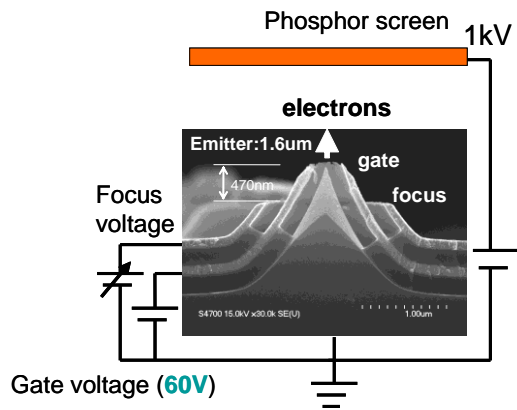


図2 各エミッタから放出された電子ビームの直径とアノード電流。



Vf	30V	40V	50V	60V
Spot	0.45mm	0.5mm	0.55mm	0.6mm
Ia	1.8uA	2.2uA	2.4uA	3.2uA

Vf	0V	5V	10V	20V
Spot	0.2mm	0.25mm	0.3mm	0.4mm
Ia	0.60uA	1.15uA	1.35uA	1.56uA

図3 集束電極の高さが電子引き出し電極に対して470 nm低い場合の、集束電極の電圧(Vf)に対する、アノードにおける電子ビームの発光イメージとアノード電流値。電子源とアノード電極の配置図も示す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① A. Koike, T. Tagami, Y. Takagi, M. Nagao, T. Yoshida, T. Aoki, Y. Neo, and H. Mimura, Emission and focusing characteristics of a quintuple-gated field emitter array, 査読有、Appl. Phys. Express Vol.4, 2011, 026701.1-026701.3.
- ② 三村秀典、真空ナノエレクトロニクスの現状と展望、査読有、応用物理78巻、2009、pp. 301-307.
- ③ M. Nagao, T. Yoshida, S. Kanemaru, Y. Neo, and H. Mimura, Fabrication of a field emitter array with a built-in einzel lens, 査読有、Jpn. J. Appl. Phys. Vol.48, 2009, pp. 06FK02.1-06FK02.4.
- ④ Y. Neo, M. Takeda, T. Soda, M. Nagao, T. Yoshida, S. Kanemaru, T. Sakai, K. Hagiwara, N. Saito, T. Aoki, and H. Mimura, Emission and focusing characteristics of volcano-structured double-gated field emitter arrays, 査読有、J. Vac. Sci. & Technol. B, Vol.27, 2009, pp.701-704.
- ⑤ Y. Neo, T. Soda, M. Takeda, M. Nagao, T. Yoshida, C. Yasumuro, S. Kanemaru, T. Sakai, K. Hagiwara, N. Saito, T. Aoki, and H. Mimura, Focusing characteristics of double-gated field emitter arrays with a lower height of the focusing electrode, 査読有、App. Phys. Express, Vol.1, 2008, pp. 053001.1-053001.3.
- ⑥ T. Soda, M. Nagao, C. Yasumuro, S. Kanemaru, T. Sakai, N. Saito, Y. Neo, T. Aoki, and H. Mimura, Fabrication of volcano-structured double-gated field emitter array by etch-back technique, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有、Vol.47, 2008, pp.5252-5255.

[学会発表] (計25件)

- ① 長尾昌善, 西孝, 神田信子, 吉田知也, 根尾陽一郎, 三村秀典, 清水貴思, 金丸正剛、高収束電子ビームを目指した静電レンズー体型フィールドエミッタの製作、電子情報通信学会電子デバイス研究会、2010年10月25日、京都
- ② A. Koike, Y. Neo, H. Mimura, M. Nagao, T. Yoshida, H. Murata, and K. Sakai, A multi-gated FEA for low energy acceleration micro-column microscopes, 23th International Vacuum Nanoelectronics Conference, 2010年7月28日、Palo Alto, USA
- ③ H. Mimura, T. Aoki, Y. Neo, M. Nagao,

T. Yoshida, and S. Kanemaru, Field emitter technology for nanovision devices, 34th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits, 2010年5月17日、Darmstadt, Germany

- ④ 長尾昌善, 田上智也, 高木康男, 神田信子, 吉田知也, 清水貴思, 小池昭史, 根尾陽一郎, 三村秀典、静電レンズー体型フィールドエミッタの作製、第57回応用物理学関係連合講演会、2010年3月17日、神奈川
- ⑤ 田上智也, 小池昭文, 高木康男, 長尾昌善, 吉田知也, 金丸正剛, 根尾陽一郎, 青木徹, 三村秀典、静電レンズー体型FEAの試作と評価、電子情報通信学会電子デバイス研究会、2009年10月15日、福井
- ⑥ M. Nagao, T. Yoshida, S. Kanemaru, Y. Neo, and H. Mimura, Field emitter array with a built-in multi-electrode lens, 22th International Vacuum Nanoelectronics Conference, 2009年7月22日、浜松
- ⑦ 田上智也, 武田匡史, 堀江瞬, 長尾昌善, 吉田知也, 根尾陽一郎, 青木徹, 三村秀典, 金丸正剛、高集束電子ビームを目指したレンズー体型FEAの検討と試作2、第56回応用物理学関係連合講演会、2009年4月1日、筑波
- ⑧ 根尾陽一郎, 武田匡史, 田上智也, 堀江瞬, 青木徹, 三村秀典, 長尾昌善, 吉田知也, 金丸正剛、Field Emitter Arrayの高機能化とその応用、電子情報通信学会、シリコン材料・デバイス研究会、2009年2月26日、札幌
- ⑨ 武田匡史, 堀江瞬, 長尾昌善, 吉田知也, 金丸正剛, 根尾陽一郎, 青木徹, 三村秀典、高集束電子ビームを目指したレンズー体型FEAの検討と試作、第69回応用物理学学会学術講演会、2008年9月2日、愛知
- ⑩ H. Mimura, Vacuum nanoelectronics for nanovision science, 22th International Vacuum Nanoelectronics Conference, 2009年7月21日、浜松
- ⑪ 武田匡史, 長尾昌善, 吉田知也, 金丸正剛, 堺俊克, 萩原啓, 齊藤信雄, 根尾陽一郎, 青木徹, 三村秀典、高精細FED用ダブルゲートFEA、2008年映像情報メディア学会年次大会、2008年8月29日、福岡

[図書] (計1件)

- ① 三村秀典, 原和彦, 川人祥二, 青木徹, 廣本宣久, コロナ社、ナノビジョンサイエンス—画像技術の新展開—、2009、245

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.nvrc.rie.shizuoka.ac.jp/visi
on-i/](http://www.nvrc.rie.shizuoka.ac.jp/visi
on-i/)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三村 秀典 (MIMURA HIDENORI)
静岡大学・電子工学研究所・教授
研究者番号：90144055

(2) 研究分担者

青木 徹 (AOKI TORU)
静岡大学・電子工学研究所・准教授
研究者番号：10283350

根尾 陽一郎 (NEO YOICHIRO)
静岡大学・電子工学研究所・准教授
研究者番号：50312674

(3) 連携研究者

()

研究者番号：