

## СИСТЕМА ВЕКТОРНОЇ ПРОТОННОЇ ЛІТОГРАФІЇ

Г.Є. Положій, О.Г. Пономарьов, В.А. Ребров, С.В. Колінько, В.Ф. Салівон.  
Інститут прикладної фізики НАН України, Суми, Україна

## VECTOR PROTON-BEAM WRITING SYSTEM

H.E. Polojij, A.G. Ponomarev, S.V. Kolinko, V.A. Rebrov, V.F. Salivon.  
Institute of Applied Physics NAS Ukraine, Sumy, Ukraine

Дана доповідь присвячена модернізації програмного забезпечення, яке керує скануючою системою на каналі протонної літографії АПК “Сокол” в Інституті прикладної фізики НАНУ. В ході модернізації була додана можливість векторної літографії на додачу до растрового методу, який застосовувався раніше.

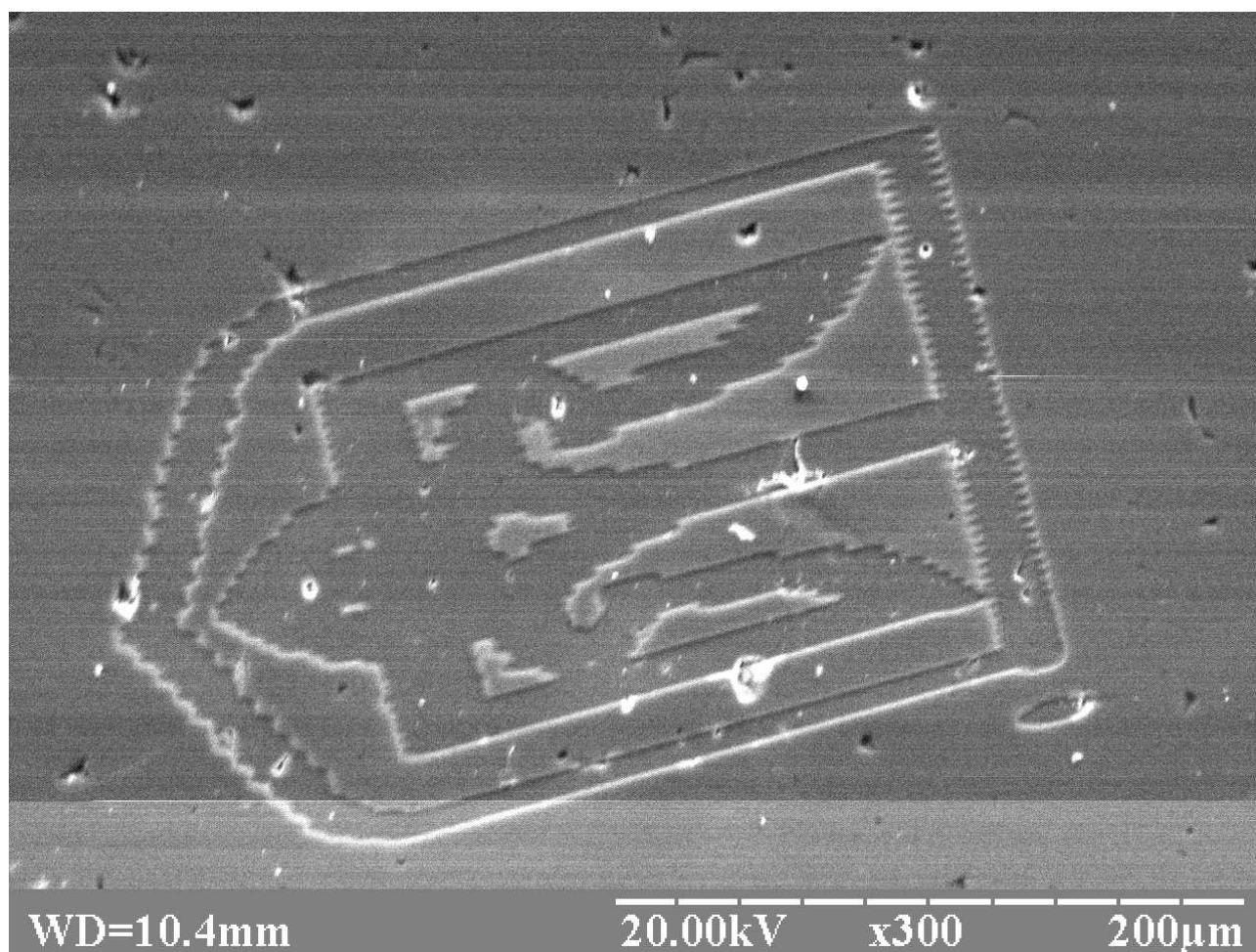


Рисунок 1. Електронна мікроскопія мікроструктури, отриманої старим растровим методом

Растровий метод має обмеження в роздільній здатності, масштабованості та адаптивності до параметрів протонного пучка. На рис. 1 видно, що краї мікроструктури герба мають “піксельні” нерівності.

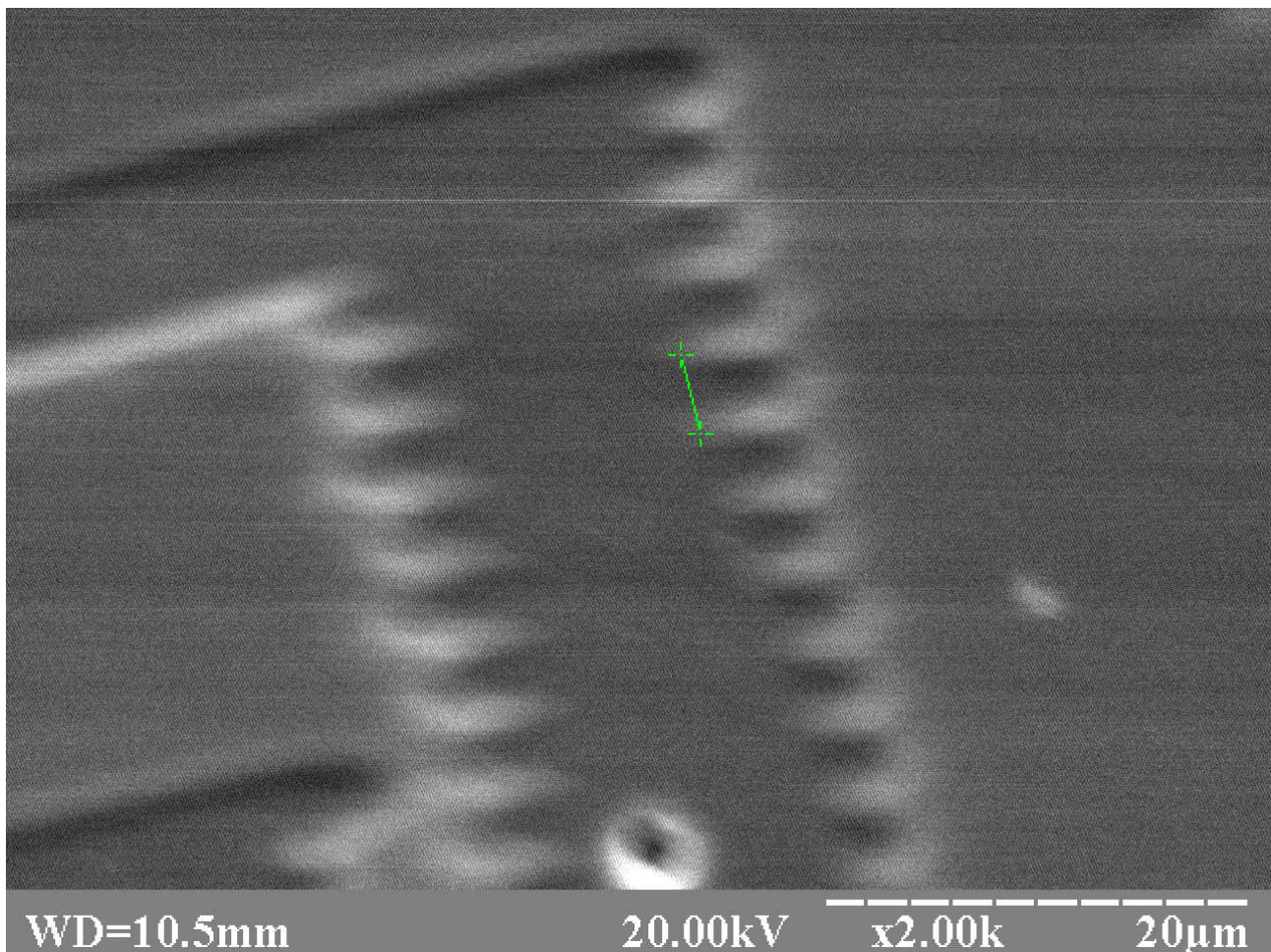


Рисунок 2. Збільшений фрагмент рис. 1, на якому видно нерівності країв структури

На рис. 2 видно, що ці нерівності мають розмір приблизно 5 мкм (за зеленою лінією). Це є слідством обмежень растрового методу: літографія відбувається за пікселями з bmp-файлу незалежно від реальних параметрів пучка.

Векторний метод позбавлений подібних недоліків, і дозволяє отримувати зображення з плавними краями незалежно від масштабу. Важлива лиш геометрія ліній та пропорції зображення. Необхідні для літографії параметри задаються в файлі "pbwvector". Ці файли створюються та редагуються в спеціальному саморобному редакторі зображень, але в майбутньому не виключений також імпорт сторонніх векторних форматів (таких, як dxf та svg).

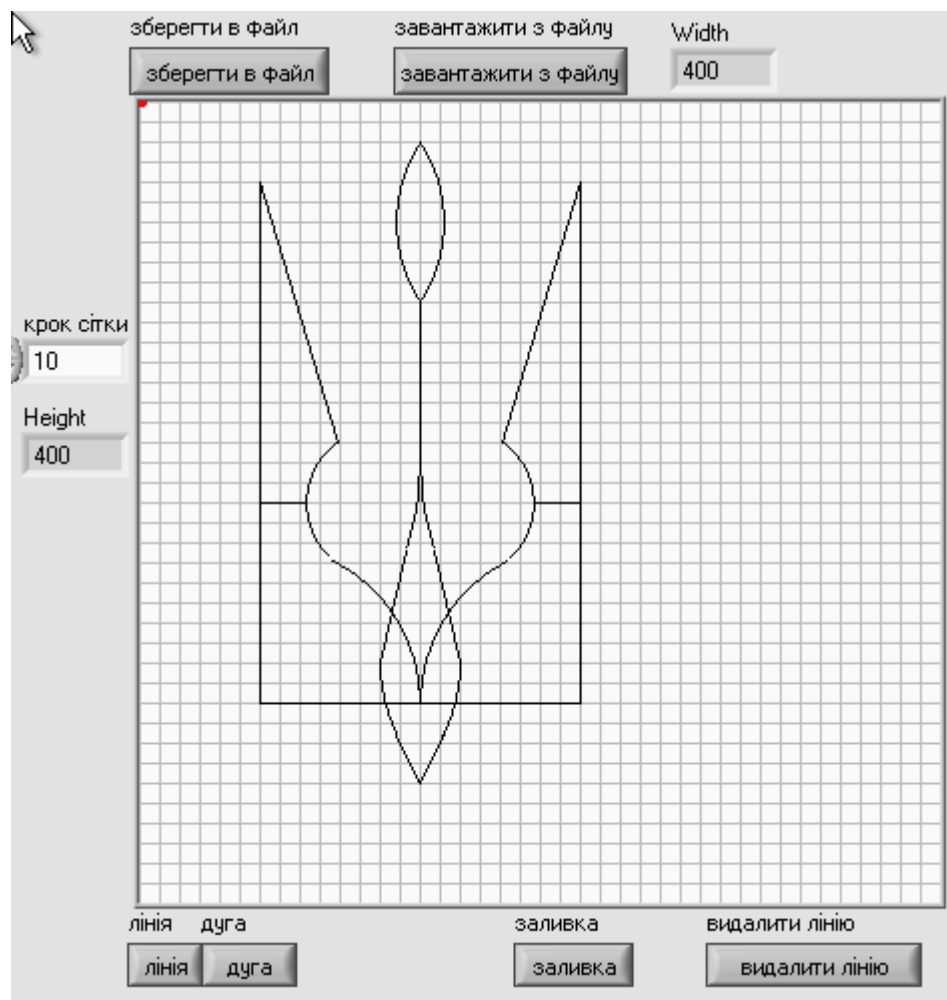


Рисунок 3. Редактор векторних зображень формату “pbwvector” з векторним зображенням герба України.

На рисунку 3 наведено знімок екрану з редактором векторних зображень.

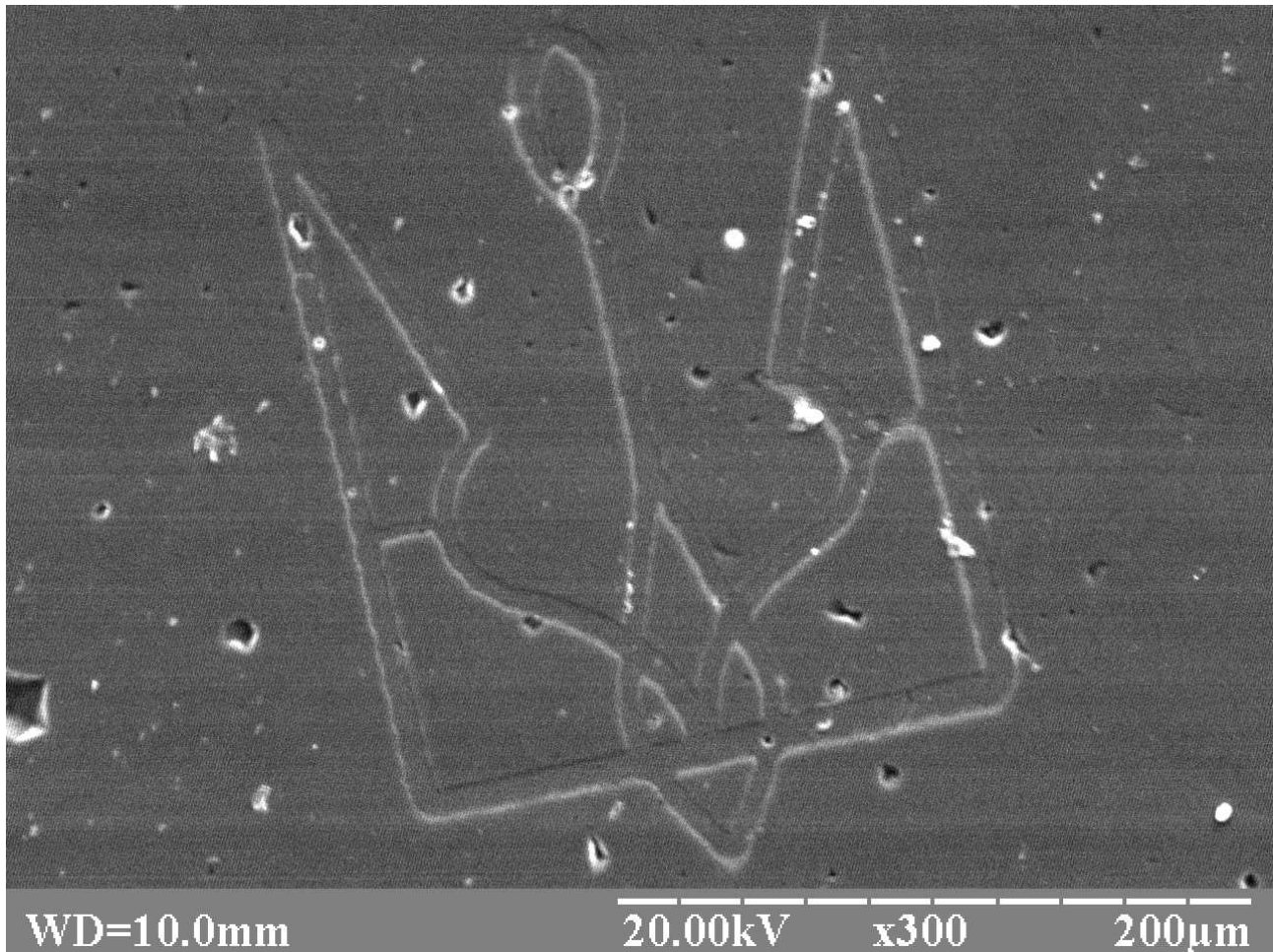


Рисунок 4. Електронна мікроскопія мікроструктури, отриманої з векторного зображення на рис. 3

На рисунку 4 видно, що мікроструктура, отримана з файлу формату "pbwvector", не має очевидних "піксельних" артефактів, властивих растровому методу, як на прямих, так і на кривих краях. Масштаб цього зображення такий самий як на рис. 1.



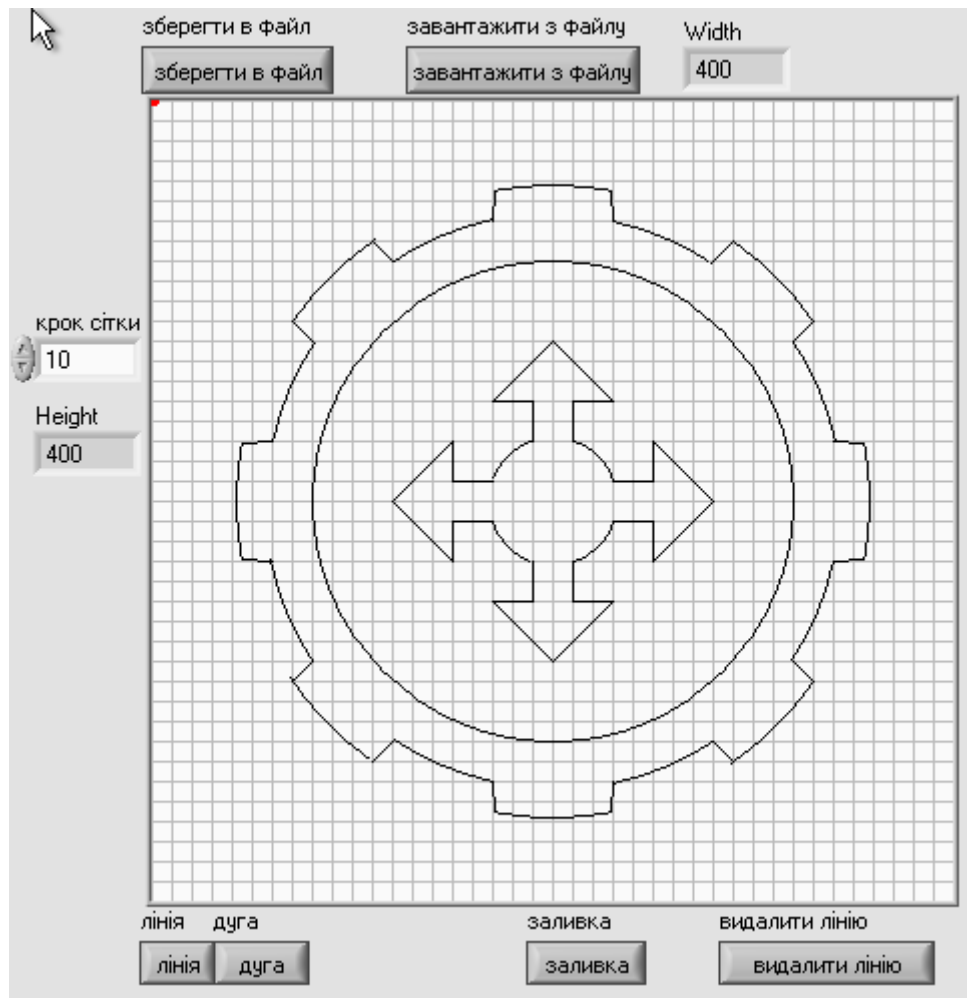


Рисунок 5. Редактор векторних зображень формату “pbwvector” зі складним зображенням.

Після успішного отримання векторних мікроструктур з гербом України, було здійснено спробу отримати складніші мікроструктури, зі значно більшою кількістю кривих (рис.5).

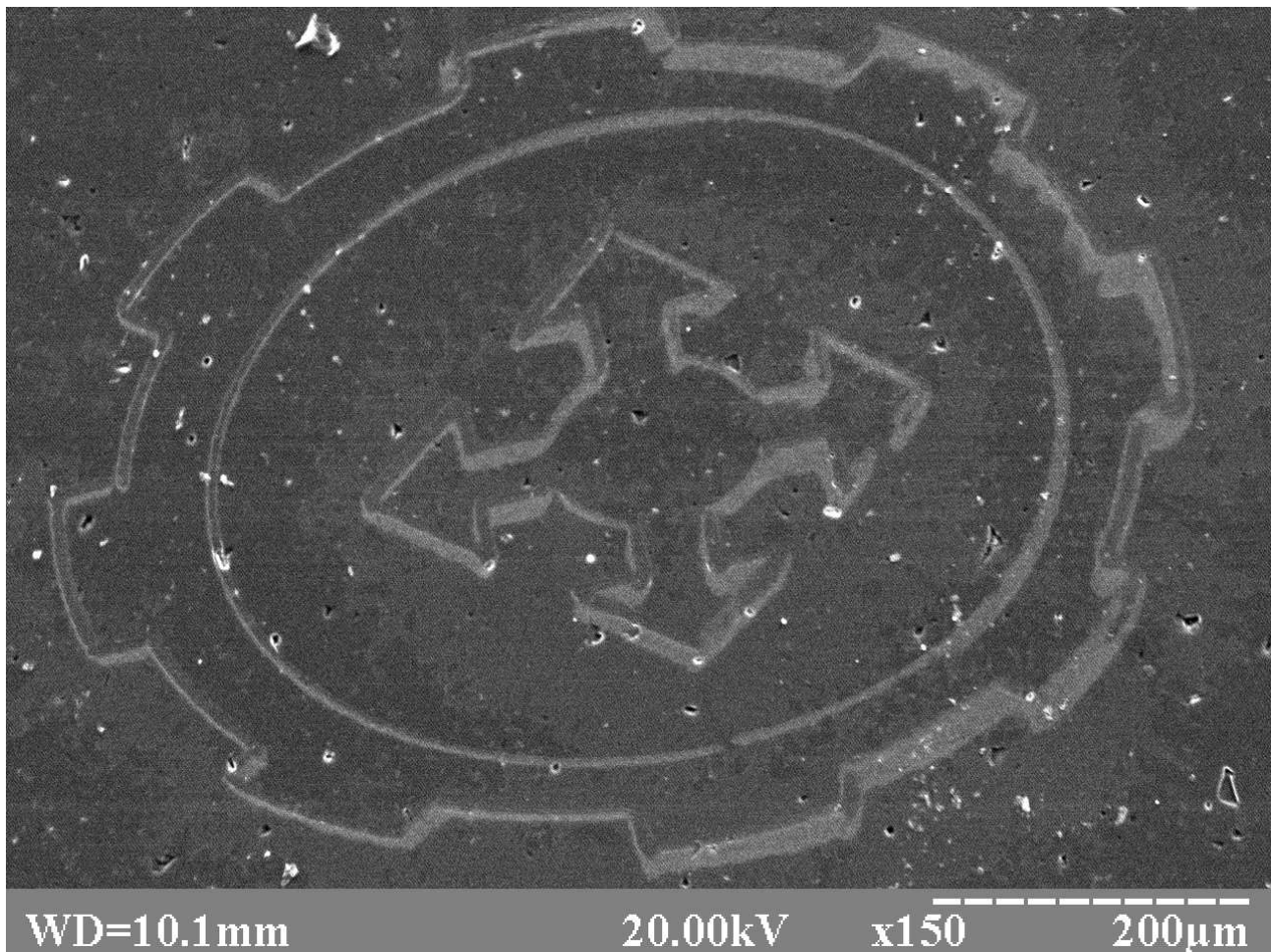


Рисунок 6. Електронна мікроскопія мікроструктури, отриманої з векторного зображення на рис. 5, розмір ~730 мкм.

Спроба була успішною: отримані мікроструктури так само були позбавлені "піксельних" артефактів (рис. 6). Дефекти структури в правій половині зображення пов'язані не з векторним методом літографії. Вони можуть бути пов'язаними з нестабільністю протонного пучка, а також з надмірним відхиленням від нульової точки, через що відбулось розфокусування пучка.

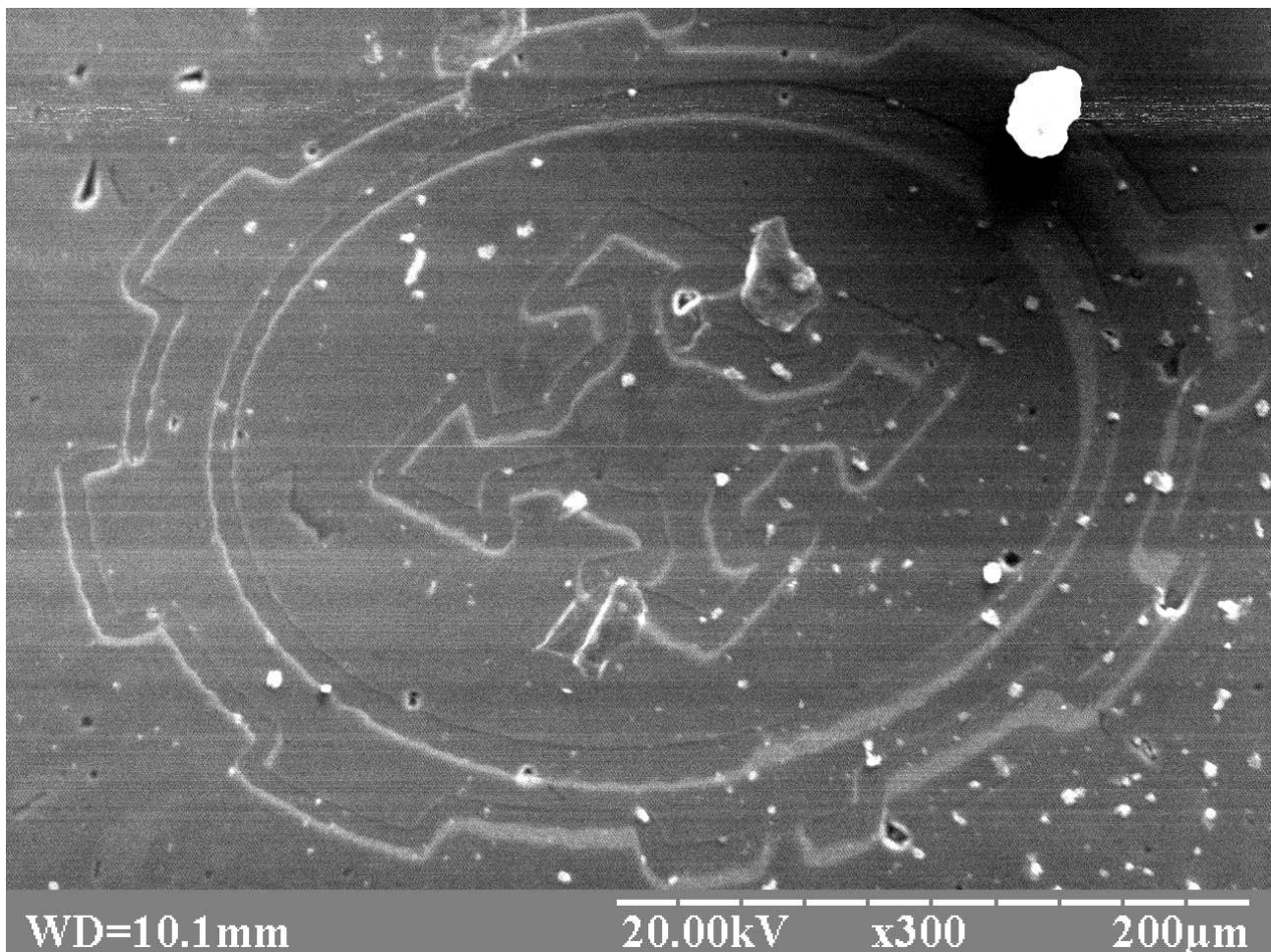


Рисунок 7. Електронна мікроскопія мікроструктури, отриманої з векторного зображення на рис. 5, розмір ~370 мкм.

Також було здійснено успішну спробу зменшити масштаб і отримати меншу структуру зі збереженням пропорції зображення (рис. 7). Протонний пучок мав ті самі параметри, що й при виробництві структури на рис. 6, і має схожі (хоч і менші) дефекти, пов'язані з нестабільністю пучка та відхиленням від нульової точки. Також на цьому зображенні через менший масштаб присутні значно більші дефекти структури, отримані при напиленні металевої плівки, необхідної для електронної мікроскопії.

Оцінка параметрів протонного пучка відбувається через напівавтоматичний аналіз зображення електронно-мікроскопічної сітки (рис. 8). Зображення отримується у інтенсивностях струму вторинних електронів під час сканування сітки протонним пучком.

інформація

початок лінії визначення кроку сітки  
почати в порожньому місці

зберегти зображення в файл

зберегти в bmp-файл

меш/дюйммікрон/крок

40063,5

форма пучка

метод Марквардта

товщина пучка по x, мкм

10,906

товщина пучка по y, мкм

4,8524

мікрон на піксель по x

0,5336

мікрон на піксель по y

0,4503

пересканувати з іншою затримкою

пересканувати

Dwell (ms)

0

натиснути по завершенні

OK

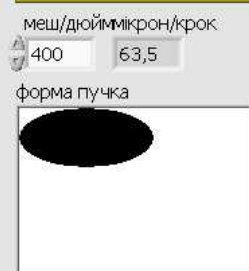
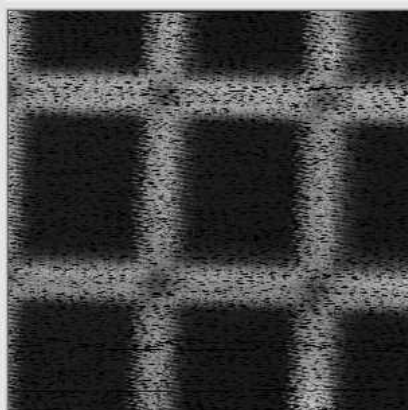


Рисунок 8. Напівавтоматична оцінка форми та розмірів протонного пучка.

Оцінка форми та розмірів пучка відбувається безпосередньо перед літографією. Це дає змогу запланувати відповідну кількість точок сканування вздовж ліній. На відміну від растрового методу, точки поставляються автоматично, відповідно до масштабу.

В подальшому планується вдосконалення обладнання каналу. В процесі придбання знаходиться нова система механічного переміщення підкладкотримача на заміну старій з непередбачуваними люфтами та іншими дефектами. Це дозволить створювати мікроструктури великого розміру (понад 1x1 мм, до 3x3 см).