Introduction to Electron Beam Machining (EBM) & Ion Beam Machining (IBM)

Peiman Mosaddegh, Ph.D.

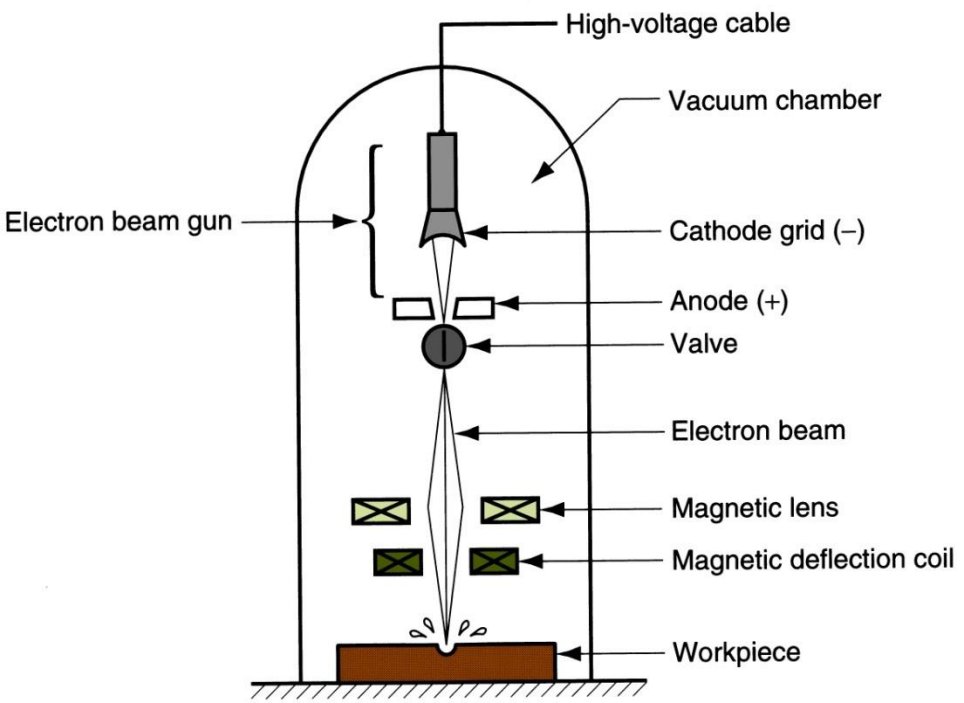
Isfahan University of Technology

Fall 2020

Electron Beam Machining (EBM)

- Uses high velocity stream of electrons focused on workpiece surface to remove material by melting and vaporization

- EB gun accelerates a continuous stream of electrons to about 60-75% of light speed
- Beam is focused through electromagnetic lens, reducing diameter to as small as 0.025mm (0.001 in)
- On impinging work surface, kinetic energy of electrons is converted to thermal energy of extremely high density (10^8 W/cm2) which melts or vaporizes material in a very localized area



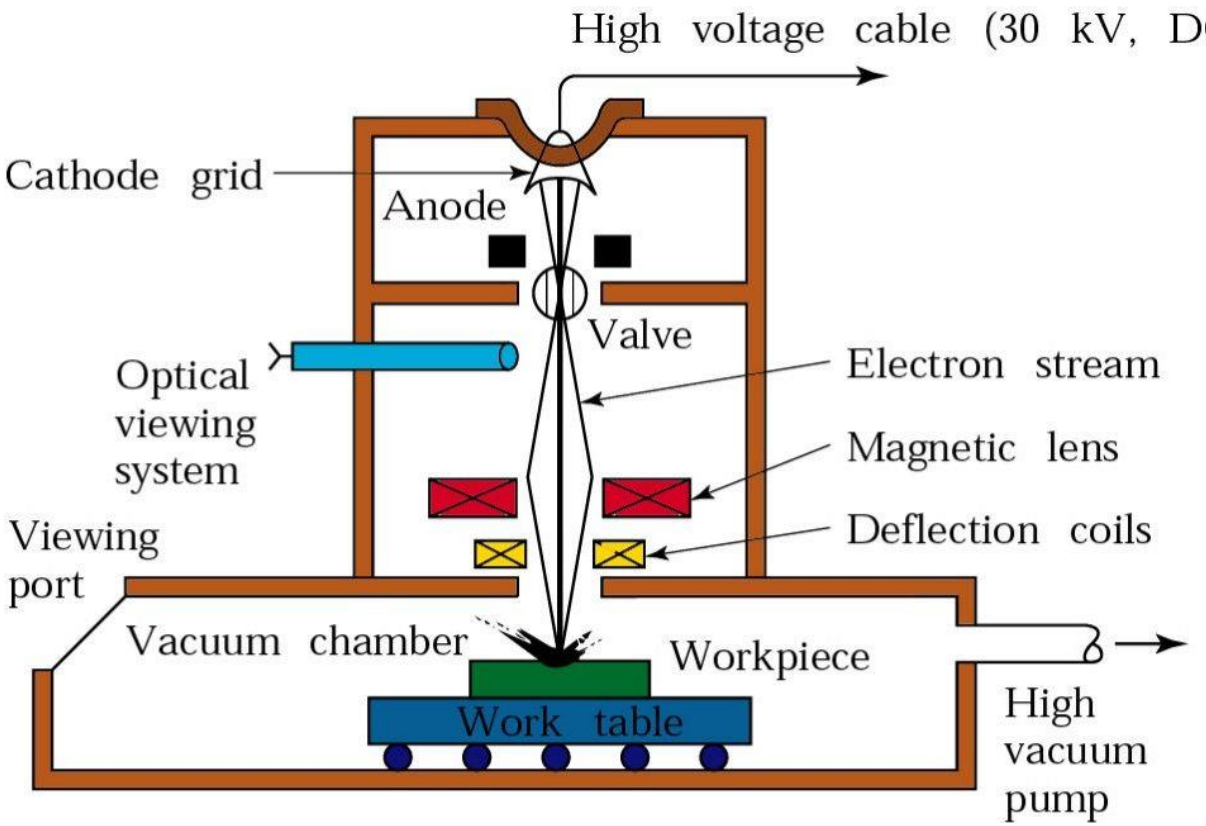
ماشين كاري با پرتو الكتروني فرايندي حرارتي است. در اين فرايند از اشعه ي متمركز حاوي الكترون هاي با سرعت زياد براي سوراخكاري و برش كاري استفاده مي شود.

• جرياني از الكترون ها با سرعت زياد به قطعه كار برخورد مي كنند. در اثر اين برخورد انرژي جنبشي الكترون ها به انرژي گرمايي تبديل شده و حرارت ايجاد شده، قطعه كار را ذوب و تبخير مي كند.

•اگرچه EBM مي تواند سوراخ هايي با هر شكل قابل برنامه ريزي ايجاد نمايد، ولي اغلب براي ايجاد سوراخ هاي گرد با سرعت زياد در فلزات، سراميك ها و پلاستيك ها (با سختي هاي متفاوت) به كار ميرود.

• با پرتو الكتروني انواع مختلف مواد رسانا و نارسانا را مي توان ماشين كاري كرد.

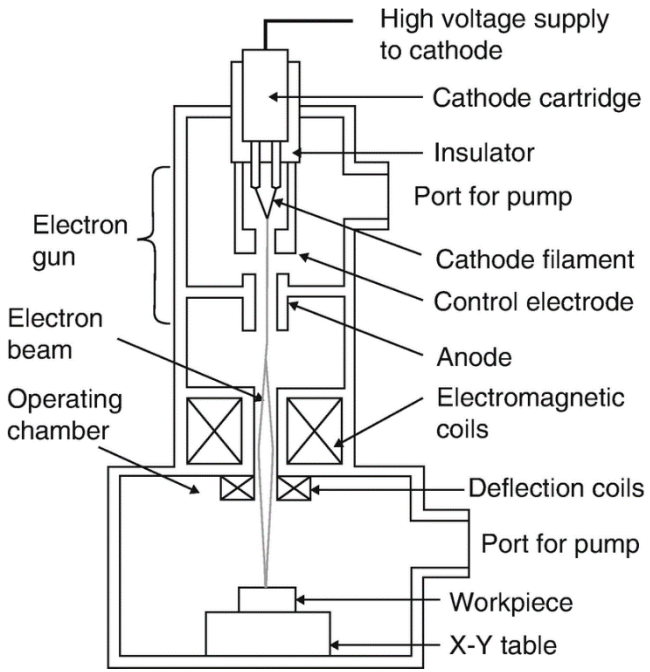
• خواص مواد از قبيل سختي، تردي، قابليت هدايت الكتريكي و نقطه ذوب، عوامل محدود كننده نيستند.



اجزاء ماشین عبارتند از:
تفنگ الکتروني
منبع تغذیه
لنزهای مغناطیسی
ماده پشت بند
سیستم خلاء و محفظه ماشینکاري

از تفنگ الكتروني براي توليد پرتو الكتروني با شكل مورد نظر و متمركز كردن آن در موقعيت از قبل تعيين شده براي سوراخ كاري يا ماشين كاري قطعه كار استفاده مي شود.
كاتد كه يك رشته ي نازك تنگستني است در اثر عبور جريان الكتريكي گرم شده و الكترون آزاد توليد مي كند. اختلاف پتانسيل بالا بين كاتد و آند به الكترون ها شتاب داده و آنها را به سوي آند پرتاب مي كند. آند كه قطعه اي سوراخدار است، اشعه ي الكتروني را از خود عبورداده و ادامه ي حركت به طرف قطعه كار را ميسر مي سازد.

سیستم مولد قدرت مورد استفاده در EBM ولتاژی در حدود150 KV براي شتاب دادن به الكترون هاتوليد ميكند. انرژی هر پالس در حدود J/Pulse120 ميباشد



درطرف خروجي سوراخ، مواد پشت بند مصنوعي يا آلي استفاده مي شود. پرتو الكتروني پس از نفوذ كامل در قطعه كار تا اندازه اي در مواد پشت بند كمكي نيز نفوذ مي كند. ماده پشت بند، تبخير شده و با فشار زياد از سوراخ بيرون مي آيد. ماده مذاب نيز به همراه ماده پشت بند تبخير و خارج مي شود.

- وجود اين قطعه براي فراهم كردن فشار بخار زياد، به منظور بيرون راندن مواد مذاب ازسوراخ ضروري است.
- نوع ماده اي كه براي پشت بند استفاده مي شود به جنس و شكل هندسي قطعه كاربستگي دارد.

نوعي تركيب رزيني كه شامل سه قسمت پودر برنجي و يك قسمت لاستيك سيليكون است به عنوان ماده پشت بند مورد استفاده قرار مي گيرد.

- براي افزايش استحكام لاستيك سيليكون حدود ٥ درصد T-hardenerبه آن اضافه مي شود. اين ماده خوردگي كمي دارد ولي براي استفاده ي مجدد مناسب نيست.
- ماده ي پشتي ديگر شامل يك اپوكسي برنجي و نوعي موم قابل استفاده مجدد است.
- اين ماده نرم و شكل پذير است و اغلب زماني كه سطوح سوراخ كاري در ميان حفره هاي غير قابل دسترسي اند، از آن استفاده مي شود .

براي جلوگيري از پراكنده شدن پرتو الكتروني در اثر برخورد با مولكول هاي هوا، ماشين كاري در محفظه ي خلأ انجام مي شود. خلاء همچنين مانع اكسيده شدن سريع گداخته مي شود.

- اين محفظه بايد دست كم يك متر مكعب حجم داشته باشد تا احتمال چسبيدن ذرات و جرقه هاي حاصل از ماشين كاري به ديواره هاي محفظه به كمترين حد ممكن برسد.
- زمان لازم براي پمپ كردن هوا به بيرون و ايجاد اين فشار، تقريباً سه دقيقه براي هر سانتي متر مكعب از حجم محفظه است.
- در داخل محفظه، سيستمي براي موقعيت دادن به قطعه كار و كنترل آن در طول فرايند وجود دارد. اين سيستم بسيار ساده مي باشد، زيرا نيازي به وجود فيكسچر براي تحمل نيروها و نگهداري قطعه وجود ندارد و تنها موقعيت دهي صحيح كافي است.

شروع فرايند EBM استقرار قطعه كار و ايجاد خلأ در محفظه ي ماشين كاري است. . عمل ايجاد يك سوراخ به وسيله اشعه الكتروني در چند مرحله انجام مي گيرد:

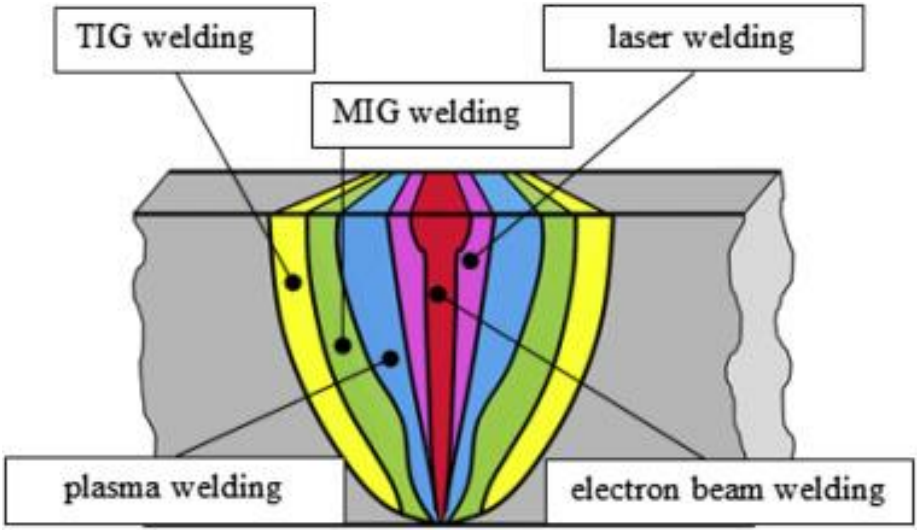
- ابتدا اشعه ي الكتروني با قطري كمتر از قطر نهايي سوراخ مورد نظر، روي قطعه كار متمركز مي شود.
- عمل سوراخ كاري با وجود يك ماده كمكي در پشت قطعه كار و پالس اشعه الكتروني تكميل مي گردد.
- فشار بخار حاصل از اين تبخير، مواد ذوب شده در داخل حفره را بيرون مي ريزد و يك سوراخ مويي (نازك) در قطعه كار ايجاد مي كند.
- اشعه ي الكتروني از سوراخ ايجاد شده عبور كرده و به ماده ي پشتي برخورد مي كند. تقريباً تمامي حجم ماده اي از قطعه پشتي كه با اشعه تماس داشته تبديل به بخار شده و موجب آزاد شدن بخار ماده پشتي به صورت يك انفجار مي گردد. فشار زياد و خروج مواد ذوب شده قطعه ي كمكي از سوراخ، مواد مذاب را از ديواره ها به بيرون مي راند.
- در اين فرآيند چون ابزار با قطعه كار تماس فيزيكي ندارد نيازي به وجود قيد و بند نيست و ماشين كاري مواد نرم هم با اين روش امكان پذير است.

چون فرایند حرارتی است منطقه HAZ و Recast Layer را داریم ولی عمق HAZ خیلی کم است (0.25 میلیمتر). یعنی اگر 0.25 میلیکتر از محل برش به عمق قطعه کار برویم در این قسمت خواص قطعه کار تغییر نکرده است.

این فرایند تمیز است چون عملیات ماشینکاری در خلا انجام میشود و هوایی وجود ندارد که اکسیژن ان محل ماشینکاری را اکسیده کند. بنابراین آلودگی سطحی در اثر وجود اکسیژن در سطح قطعه کار بوجود نمی آید.

به همین دلیل این فرآیند برای برشکاری و سوراخکاری قطعات از جنس تیتانیوم و نیکل مفید است.

NON METALS includes:
- ceramic
- plastic
- leather

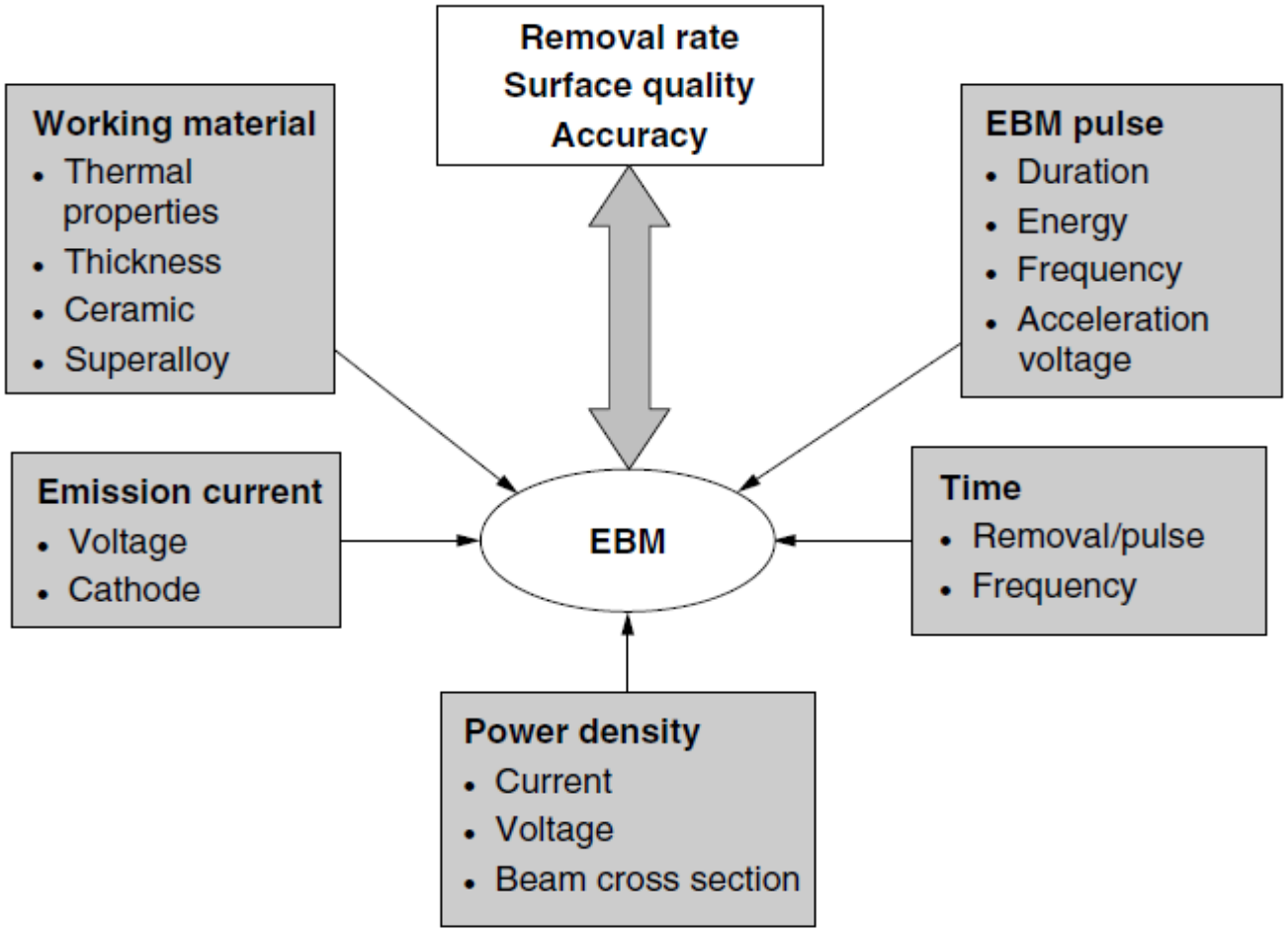


EBM Applications

- Works on any known material
- Ideal for micromachining
  - Drilling small diameter holes - down to 0.05 mm (0.002 in)
  - Cutting slots only about 0.025 mm (0.001 in.) wide
- Drilling holes with very high depth-to-diameter ratios
  - Ratios greater than 15:1
- The absence of mechanical contact and the suitability for automatic control enhance the process capabilities, but the necessity to work in a vacuum lengthens the floor-to-floor cycle time.
- Used for:
  - perforation (drilling) of thin sheets, slotting, integrated circuit fabrication

Applications

Parameters affecting EBM



Advantages and disadvantages of EBM

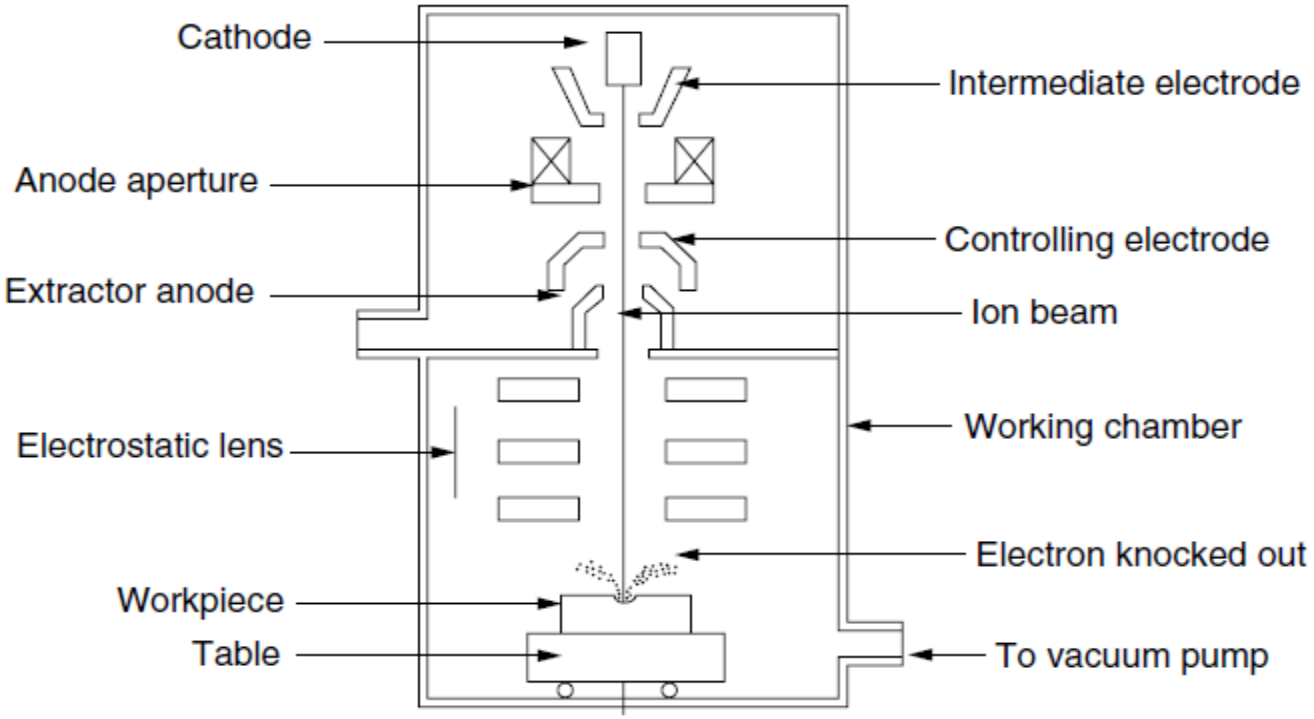
Advantages

- Drilling is possible at high rates (up to 4000 holes per second).
- No difficulty is encountered with acute angles.
- Drilling parameters can easily be changed during machining.
- No limitation is imposed by workpiece hardness, ductility, and surface reflectivity.
- No mechanical distortion occurs to the workpiece since there is no contact.
- The process is capable of achieving high accuracy and repeatability of 0.1 mm for position of holes and 5 percent for the hole diameter.
- The process produces the best surface finish compared to other thermal processes.
- The cost is relatively small compared to other processes used to produce very small holes.

Disadvantages

- High capital equipment cost
- Long production time due to the time needed to generate a vacuum
- The presence of a thin recast layer
- Need for auxiliary backing material

Ion Beam Machining



Ion beam machining (IBM) takes place in a vacuum chamber using charged ions fired from an ion source toward the workpiece by means of an accelerating voltage.

Ion Beam Machining

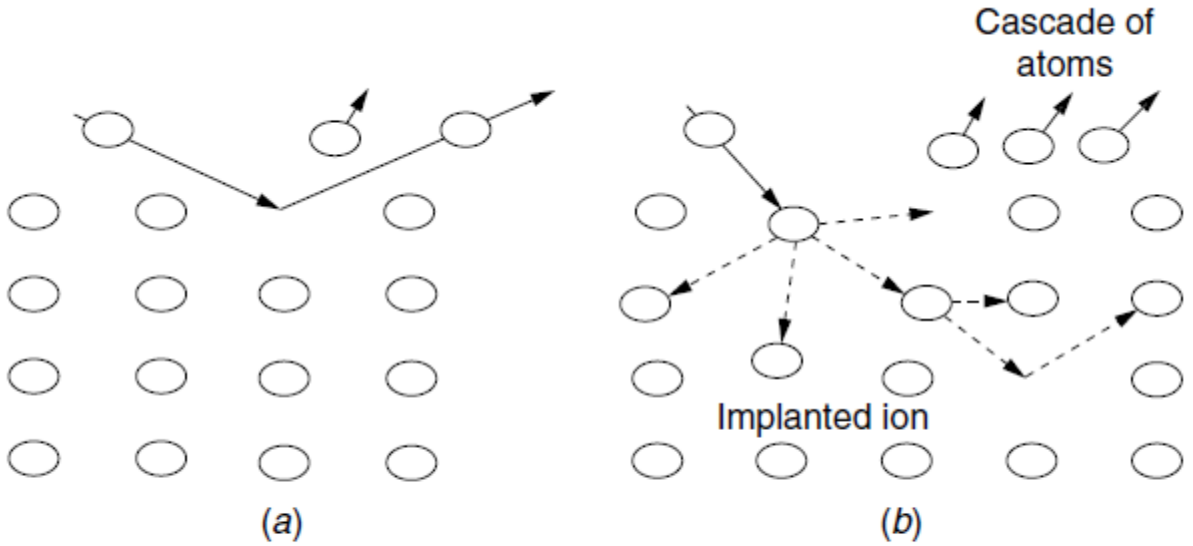


Figure 5.57 Mechanism of material removal at (*a*) low and (*b*) high energy levels (McGeough, 1988).

Energy greater than 5 to 10 eV binding energy are needed to effect the removal of atoms. Small dimensions as 10 to 100 nm are possible using IBM. The slope of the sidewalls of the machined surface and its surface finish are determined by the angle of incidence of the ion beam.

Ion Beam Machining - applications

Applications:

1. IBM is used in smoothing of laser mirrors as well as reducing the thickness of thin films without affecting their surface finish. In this regard thinning of samples of silicon to a thickness of 10 to 15 μm has been reported using argon ions impinging at normal incidence by McGeough (1988).

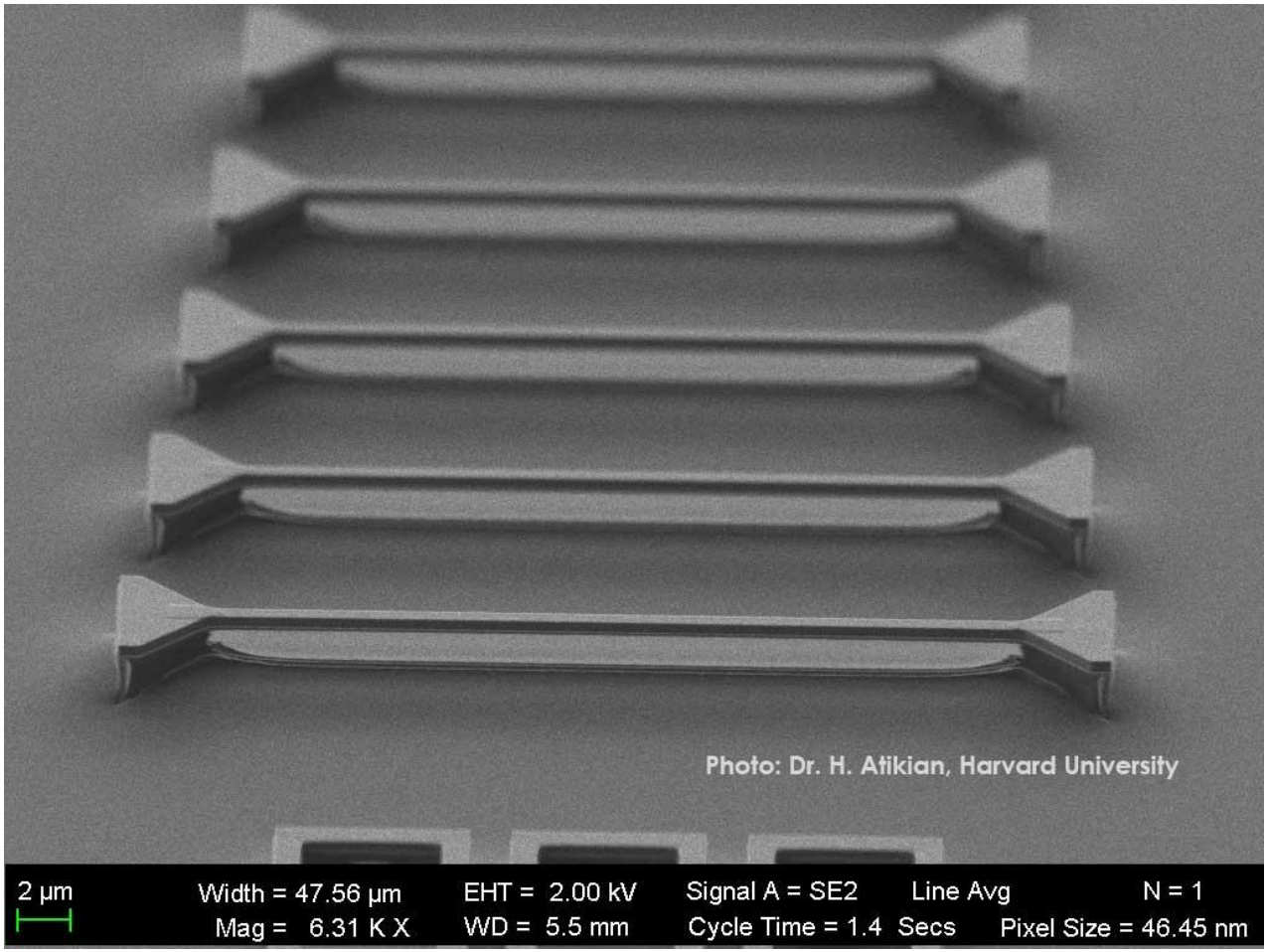
2. Using two opposing beams, a thin circular region on a rotating sample can produce (samples for transmission electron microscopy).

3. Polishing and shaping of optical surfaces by direct sputtering of preforms in glass, silica, and diamond is performed using patterning masks.

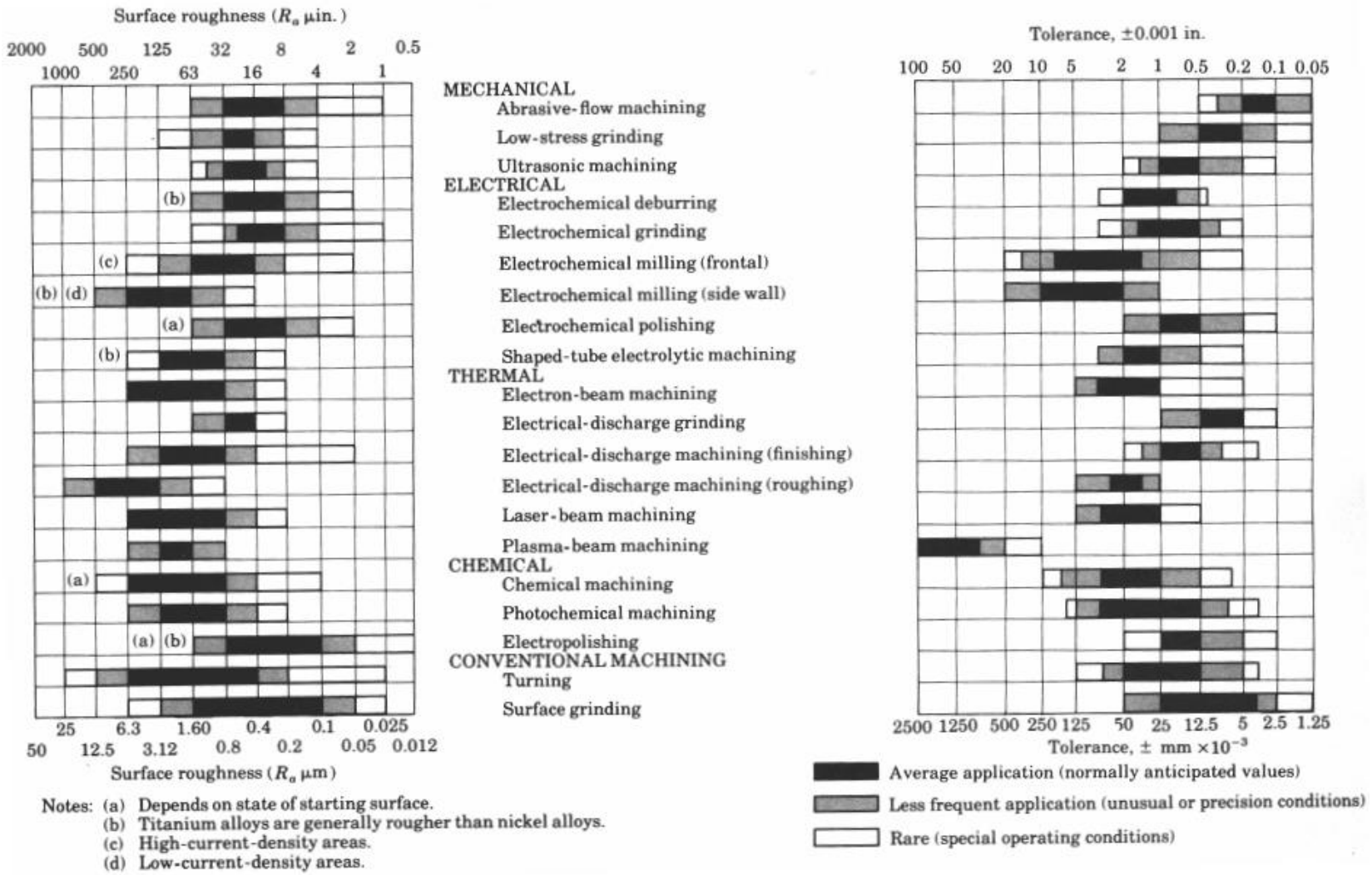
Ion Beam Machining - applications

4. The process can produce closely packed textured cones in different materials including copper, nickel, stainless steel, silver, and gold. Sputter etching can also create microscopic surface texture using the sputter deposition of a lower yield material on the surface.
5. Atomically clean surfaces can be produced by IBM that are used in the adhesion of gold films to silicon and aluminum oxide substrate. Higher ion energies can be used to remove a layer of the surface oxide.
6. IBM can mill a line width of 0.2 μm, which is used in the fabrication of bubble memory devices of depth-to-width ratios of 2:1 (McGeough, 1988). Problems associated with the alternative chemical etching method such as the lack of undercutting are avoided since masking is only needed to shadow the beam.
7. Further applications regarding two-dimensional polymer base diffraction grating by IBM can be seen in the website *www.blkbox.com/* while ion beam deposition (IBD) in the website *www.skion.com/*.

Ion Beam Machining - applications



Process Comparison



Notes: (a) Depends on state of starting surface.
(b) Titanium alloys are generally rougher than nickel alloys.
(c) High-current-density areas.
(d) Low-current-density areas.

Questions???