

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

307 999

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01N 1/32 (2006.01)
H01J 37/28 (2006.01)
H01J 37/30 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2018-157**
(22) Přihlášeno: **29.03.2018**
(40) Zveřejněno: **09.10.2019**
(Věstník č. 41/2019)
(47) Uděleno: **28.08.2019**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **09.10.2019**
(Věstník č. 41/2019)

(56) Relevantní dokumenty:

WO 2016067039 A; US 8754384 B; US 2008258056 A.

(73) Majitel patentu:
Tescan Brno, s.r.o., Brno, Kohoutovice, CZ
TESCAN ORSAY HOLDING, a.s., Brno,
Kohoutovice, CZ

(72) Původce:
Dr. Andrey Denisyuk, Brno, Bystrc, CZ
Ing. Pavel Doležel, Ph.D, Brno, Husovice, CZ

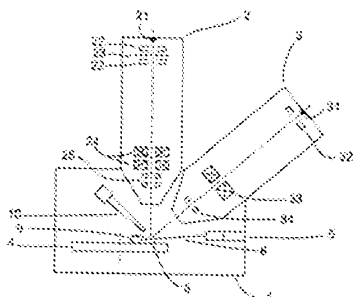
(74) Zástupce:
PatentEnter s.r.o., Koliště 1965/13a, 602 00 Brno,
Černá Pole

(54) Název vynálezu:

Zařízení pro vytvoření a uložení lamely

(57) Anotace:

Zařízení pro vytvoření a uložení lamely obsahuje fokusovaný iontový svazek, skenovací elektronový mikroskop, stolek pro umístění alespoň dvou vzorků umožňující náklon, rotaci a posun vzorku, dále obsahuje manipulátor zakončený jehlou pro uchycení a přenesení vzorku. Manipulátor je umístěn v rovině kolmé k ose náklonu vzorku, čímž umožňuje snadné přenesení a uložení lamely do držáku vzorku pro transmisní elektronový mikroskop, tzv. mřížky. Manipulátor je uzpůsoben rotování jehlou kolem vlastní osy. V případě tvorby lamely z polovodičového zařízení tím umožňuje obrácení lamely a její dolešťování přes vrstvu polovodičového substrátu, na kterém je polovodičová struktura vytvořena.



CZ 307999 B6

Zařízení pro vytvoření a uložení lamely

Oblast techniky

5

Vynález se týká zařízení pro vytvoření a uložení lamely obsahující fokusovaný iontový svazek a skenovací elektronový mikroskop, dále vybavené stolem a manipulátorem.

10

Dosavadní stav techniky

15

Požadavky na vzorky (tzv. lamely) pro transmisní elektronové mikroskopy (TEM) a skenovací transmisní elektronové mikroskopy (STEM) se neustále zvyšují. Je potřeba dosáhnout určité tloušťky, aby elektrony mohly procházet vzorkem, a je nutné dosáhnout co nejrovnějšího povrchu, aby (S)TEM dával co nejlepší obraz. Pro výrobu takto přesných lamel se proto používají zařízení s fokusovaným iontovým svazkem (FIB), obvykle v kombinaci se skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM) pro pozorování průběhu přípravy vzorku. Pomocí takového kombinovaného zařízení se ze vzorku vyřeže lamela vhodných rozměrů, kterou lze dále upravit nebo uložit na vhodný držák vzorku pro další analýzu.

20

25

V závislosti na povaze vzorku a požadované analýze se používá tzv. cross view lamela, tj. lamela zkoumající strukturu vzorku na příčném řezu, nebo tzv. plane view lamela, která ukazuje strukturu vzorku v dané hloubce vzorku. Lamela se vyřeže ze vzorku, připevní se na jehlu manipulátoru a přenesení se do držáku, ve kterém se může následně přímo v komoře zařízení upravit pomocí FIB anebo zkoumat technikou STEM nebo lze lamelu přenést do držáku pro TEM (tzv. mřížka) a dále v něm zpracovávat a následně přesunout do samostatného zařízení TEM. Při přenosu do nového držáku je nutné lamelu vhodně otočit, aby se do držáku uložila ve správné orientaci. Takové otočení bývá obtížné a je k němu nutné použít manipulátor s jehlou otočnou kolem vlastní osy. Problém přesunutí plain view lamely do mřížky řeší například patent US 7423263.

30

35

Tvorbu lamely navíc komplikuje tzv. curtaining efekt, kdy se ve směru dopadajících iontů tvoří na lamele rýhy. Tento jev lze potlačit tím, že se na hranu vzorku, přes kterou dopadají na vzorek ionty, nanese vhodný materiál s nízkou odprašovací rychlostí. Odprašuje se potom přes tento materiál.

40

V případě polovodičového vzorku (zařízení, např. tranzistory) lze vytvořenou lamelu otočit a místo nanášení nové vrstvy materiálu využít hmotu křemíku (nebo jiného materiálu), na kterém je polovodičová struktura vytvořená. Takový postup se nazývá backside polishing. Nevýhodou tohoto postupu je opět proces otáčení lamely.

Protože objem výroby polovodičových součástek roste, je nutné kontrolu provádět efektivněji a rychleji a především s menšími zásahy obsluhy zařízení.

45

50

Postup tvorby lamely z polovodičového vzorku uvedený v patentu US 9653260 využívá kombinovaného FIB-SEM zařízení a speciálního držáku mřížky, který je schopný otočit lamelou nezávisle na stole a obsluha tedy nemusí do zařízení zasahovat manuálně. Po vyřezání lamely ze vzorku pomocí FIB se lamela pomocí manipulátoru otočí a přenesení se do mřížky upnuté v držáku. Protože je manipulátor v obecné poloze, je nutné před uložením lamely mřížku vzhledem k lamele správně orientovat. Držák mřížky je potom schopný lamelou otáčet a posouvat tak, aby ji bylo možné ztenčovat po obou stranách. Tento speciální držák mřížky však vyžaduje přidavné ovládání a tím dělá celé zařízení složitější a ubírá místo v okolí vzorku.

Podstata vynálezu

Uvedené nevýhody dosavadních řešení překonává předkládaný vynález. Zařízení pro vytvoření a uložení lamely obsahuje tubus fokusovaného iontového svazku a tubus skenovacího elektronového mikroskopu na vzorkové komoře. Ve vzorkové komoře je umístěn stolek pro umístění alespoň dvou vzorků umožňující náklon, rotaci a posun ve třech navzájem kolmých osách. Stolek lze naklánět kolem osy kolmé k rovině určené osou tubusu fokusovaného iontového svazku a osou tubusu skenovacího elektronového mikroskopu. Rotace se provádí kolem osy, která je při nulovém náklonu svislá. Zařízení dále obsahuje manipulátor zakončený jehlou schopnou rotace kolem vlastní osy. Manipulátor je umístěn v rovině určené osou tubusu fokusovaného iontového svazku a osou tubusu skenovacího elektronového mikroskopu.

Manipulátor je výhodně umístěn pod úhlem 0 až 35° od horizontální polohy. Výhodné je umístění manipulátoru blíže tubusu fokusovaného iontového svazku. Při splnění těchto podmínek je tedy manipulátor umístěn pod tubusem fokusovaného iontového svazku a kolmo k ose náklonu stolku. Vzorek tedy lze naklonit směrem k manipulátoru, což je při práci se vzorkem výhodné.

Stolek může být uzpůsoben pro umístění vzorků kolem osy rotace pro snadnou výměnu pozorovaného vzorku.

Zařízení může navíc obsahovat systém pro připouštění plynu. Při odprašování materiálu vzorku lze připouštět do blízkosti místa odprašování látku urychlující odprašování nebo látku eliminující curtaining efekt. Při připevňování vzorku na jehlu manipulátoru pak lze připouštět takovou látku v plynném skupenství, která vytvoří spoj mezi jehlou a vzorkem.

Pomocí uvedeného zařízení lze zjednodušit proces vytvoření a uložení lamely. V místě vzorku, které chceme pozorovat, se pomocí FIB uvolní ze vzorku běžným způsobem lamela tak, že se vzorek nakloní povrchem kolmo k tubusu FIB, pomocí FIB se odpráší materiál na obou stranách budoucí lamely, vzorkem se nakloní do druhé polohy, kde se lamela odřízne po obvodu a zůstane připevněná pouze na malé části vzorku. Následně se vzorek nakloní do polohy, aby plocha lamely svírala s jehlou manipulátoru 90°. V této poloze se přiloží jehla k lamele, kam se připevní a odřízne se od zbývajících hmoty vzorku. Lamela se následně pomocí manipulátoru na jehle vyzdvihne ze vzorku.

Při přípravě lamely z polovodičového vzorku, kdy je žádoucí lamelu dále ztenčit a doleštit pomocí FIB ze spodní strany, se jehlou otočí o 180° a tím se lamela obrátí, ale její plocha zůstává stejně orientovaná. V této poloze se lamela uloží do mřížky umístěné na stolku. V případě vzorků, kde není otáčení nutné, se lamela rovnou uloží do mřížky.

Odprašování může probíhat za připouštění látky systémem pro připouštění plynu nebo bez něj. Po celou dobu tvorby a ukládání lamely lze průběh pozorovat pomocí SEM, případně FIB.

Výhodou uvedeného řešení je to, že se stolkem není nutné před vytažením lamely rotovat směrem k manipulátoru. Mřížka má takovou orientaci, aby nebylo nutné lamelu dál otáčet. Převrácení lamely a vkládání do mřížky je pro operátora jednoduchý a přehledný pohyb.

Objasnění výkresů

50

Obr. 1 znázorňuje zařízení pro opracování a pozorování vzorku podle vynálezu.

Obr. 2 – 7 znázorňují postup vytvoření a uložení vzorku v zařízení podle vynálezu.

55

Příklady uskutečnění vynálezu

Na obrázku 1 je znázorněno zařízení podle předkládaného vynálezu. Na vzorkové komoře 1 je umístěn tubus 2 skenovacího elektronového mikroskopu obsahující zdroj 21 elektronů, kondensor 22 SEM, aperturu 23 SEM, objektiv 24 SEM a rastrovací cívky 25 SEM. Dále je na vzorkové komoře 1 umístěn tubus 3 fokusovaného iontového svazku obsahující zdroj 31 iontů, extraktor 32 FIB, objektivovou čočku 33 FIB a rastrovací systém 34 FIB. Ve vzorkové komoře 1 je umístěn stolek 4, který umožňuje náklon kolem osy kolmé na rovinu určenou osou tubusu 3 fokusovaného iontového svazku a osou tubusu 2 skenovacího elektronového mikroskopu, rotaci kolem osy, která je při nulovém náklonu svislá, a posun ve třech navzájem kolmých osách. Zařízení dále obsahuje manipulátor 5 zakončený jehlou 6, která je schopna posunu a rotace kolem vlastní osy. Tento manipulátor 5 je umístěn v rovině určené osou tubusu 3 fokusovaného iontového svazku a tubusu 2 skenovacího elektronového mikroskopu. Manipulátor 5 je umístěn blíže tubusu 3 fokusovaného iontového svazku.

Zařízení lze využít například k vytvoření a uložení lamely 11 z polovodičového vzorku. Na stolek 4 se umístí vzorek 8 a mřížka 9 pro uložení lamely 11, jak je znázorněno na obr. 2. Struktura polovodičového vzorku 8 se skládá z vrstev kovových a z vrstev dielektrika, které jsou uloženy na vrstvě polovodičového substrátu, obvykle křemíku. Mřížka 9 má tvar půlkruhu s výčnělkem, na které se umísťují lamely 11. Mřížka 9 se na stolek 4 umístí svisle, kolmo k rovině určené osou tubusu 3 fokusovaného iontového svazku a osou tubusu 2 skenovacího elektronového mikroskopu.

Jak je znázorněno na obr. 3, stolek 4 se nakloní kolem osy náklonu směrem k tubusu 3 fokusovaného iontového svazku tak, že povrch vzorku 8, je kolmo k ose tubusu 3 fokusovaného iontového svazku. V této poloze se odpráší materiál vzorku 8 tak, že se odpráší naproti sobě dva příčné řezy vzorkem 8, čímž vznikne lamela 11. Při tomto odprašování je možné systémem 10 pro připouštění plynu připouštět vhodný plyn v závislosti na přesném složení vzorku 8, například pro dosažení urychlení odprašování nebo pro zmírnění curtaining efektu. Odprašování je možné sledovat pomocí skenovacího elektronového mikroskopu nebo fokusovaného iontového svazku.

Stolkem 4 se následně nakloní do druhé polohy, kde se lamela 11 po obvodu odřízne pomocí iontového svazku 12 a zůstane připevněná pouze na malé části vzorku 8. Jak je znázorněno na obr. 4, stolek 4 se nakloní tak, aby se jehla 6 mohla přiblížit k povrchu lamely 11 kolmo. V této poloze se jehla 6 k lamelě 11 připevní depozicí vhodného materiálu dodaného systémem 10 pro připouštění plynu elektronovým svazkem nebo iontovým svazkem 12 nebo jinak. Lamela 11 se následně uvolní pomocí iontového svazku 12 od vzorku 8 a pomocí manipulátoru 5 se lamela 11 zvedne ze vzorku 8, jak je znázorněno na obr. 5. Manipulátor 5 otočí jehlou 6 o 180°, čímž se lamela 11 obrátí (obr. 6).

Jak je znázorněno na obr. 7, v této obrácené poloze se lamela 11 pomocí manipulátoru 5 přesune a uloží se do mřížky 9. Lamelu 11 lze dále v mřížce 9 doleštit pomocí iontového svazku 12 a to výhodně ze strany polovodičového substrátu, který brání tvorbě curtaining efektu. Pro doleštění a pozorování lamely 11 z různých stran lze potom využít náklonu, rotace a posunu stolku 4. Během celé přípravy lamely 11 lze průběh sledovat pomocí skenovacího elektronového mikroskopu.

Lamelu 11 uloženou v mřížce 9 lze dále přemístit do TEM pro další pozorování.

PATENTOVÉ NÁROKY

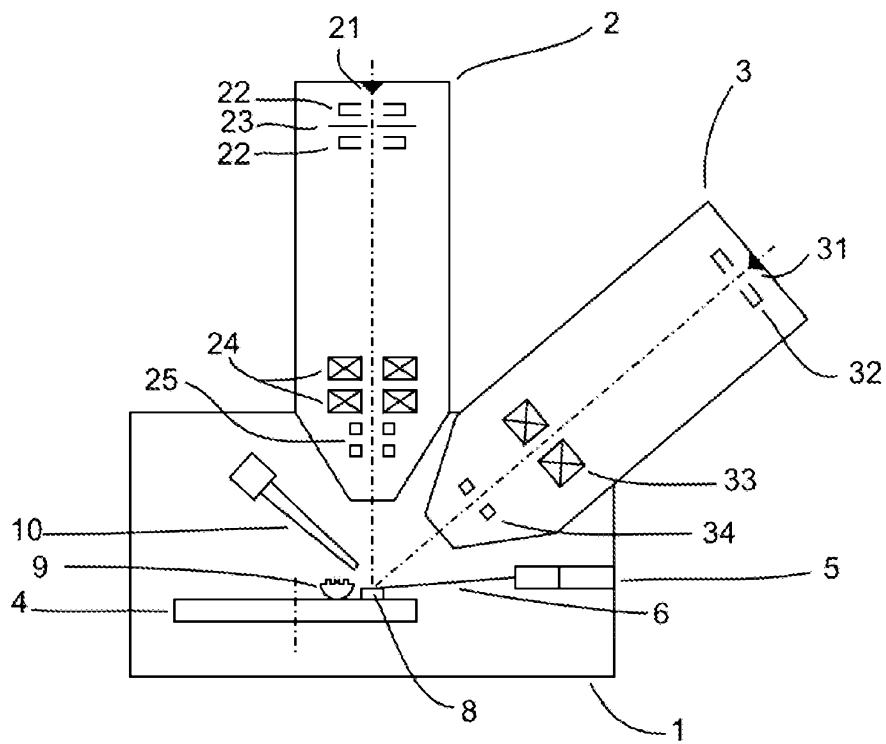
1. Zařízení pro vytvoření a uložení lamely (11) obsahující tubus (3) fokusovaného iontového svazku, tubus (2) skenovacího elektronového mikroskopu a vzorkovou komoru (1) se stolkem (4)

- pro umístění alespoň dvou vzorků (8) umožňujícím náklon, rotaci a posun ve třech navzájem kolmých osách, přičemž náklon je umožněn kolem osy kolmé k rovině určené osou tubusu (3) fokusovaného iontového svazku a osou tubusu (2) skenovacího elektronového mikroskopu a rotace je umožněna kolem svislé osy, dále obsahující manipulátor (5) zakončený jehlou (6) schopnou posunu a rotace kolem vlastní osy, **vyznačující se tím**, že manipulátor (5) je umístěn v rovině určené osou tubusu (3) fokusovaného iontového svazku a osou tubusu (2) skenovacího elektronového mikroskopu.
2. Zařízení pro vytvoření a uložení lamely (11) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že manipulátor (5) je umístěn pod úhlem 0 až 35° od horizontální polohy.
3. Zařízení pro vytvoření a uložení lamely (11) podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že manipulátor (5) je umístěn blíže tubusu (3) fokusovaného iontového svazku.
4. Zařízení pro vytvoření a uložení lamely (11) podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že stolek (4) je uzpůsoben k uložení vzorků (8) kolem osy rotace.
5. Zařízení pro vytvoření a uložení lamely (11) podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje systém (10) pro připouštění plynu.

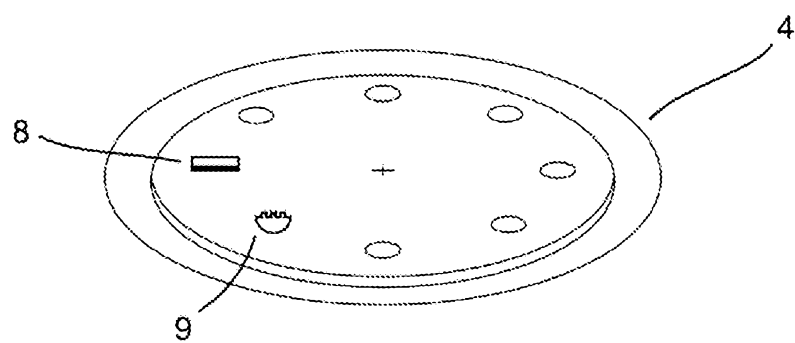
3 výkresy

Seznam vztahových značek

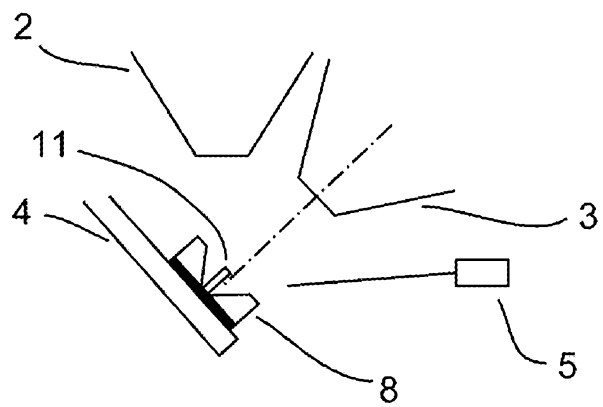
- 1 – vzorková komora
- 2 – tubus skenovacího elektronového mikroskopu
- 3 – tubus fokusovaného iontového svazku
- 4 – stolek
- 5 – manipulátor
- 6 – jehla
- 8 – vzorek
- 9 – mřížka
- 10 – systém pro připouštění plynu
- 11 – lamela
- 12 – iontový svazek
- 21 – zdroj elektronů
- 22 – kondensor SEM
- 23 – apertura SEM
- 24 – objektiv SEM
- 25 – rastrovací cívky SEM
- 31 – zdroj iontů
- 32 – extraktor FIB
- 33 – objektivová čočka FIB
- 34 – rastrovací systém FIB



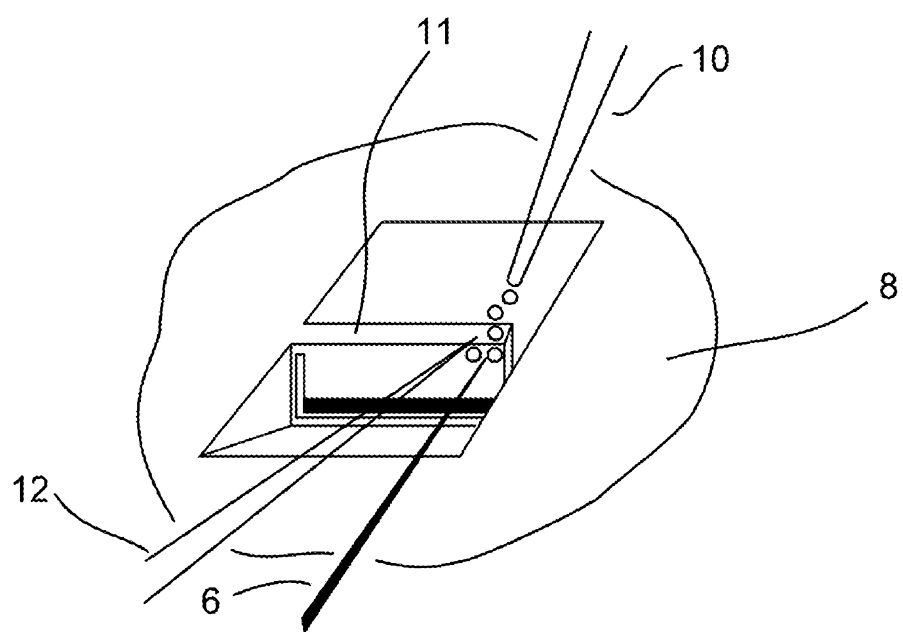
Obr. 1



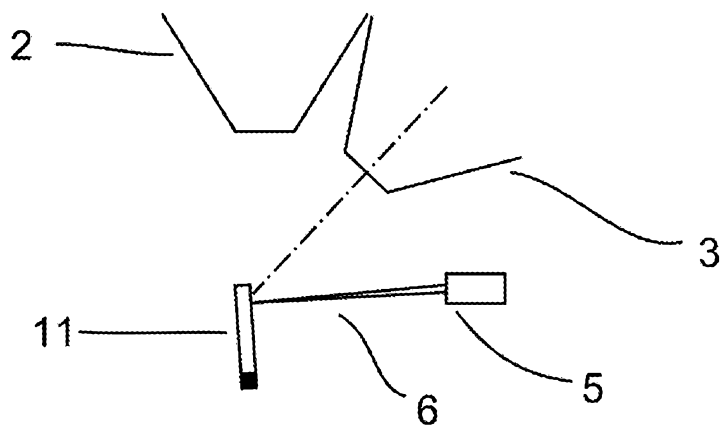
Obr. 2



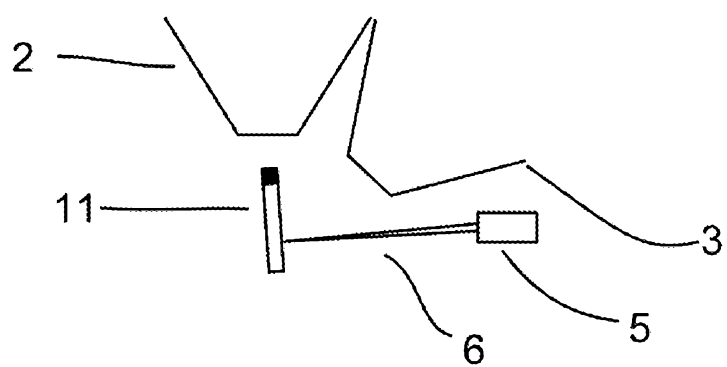
Obr. 3



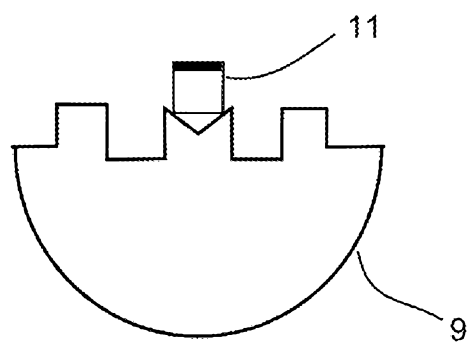
Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7