

А. А. Барыков, Г. Н. Кузнецов, Ю. М. Лавринов,
С. Н. Мазуренко, М. А. Михайлов, В. Е. Назаренко

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ РЕАЛЬНЫХ
КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР
В ПУЧКЕ СИ ВЭПП-4

ПРЕПРИНТ № 120

На экспериментальной станции «Топография и дифрактометрия» на пучке СИ накопителя ВЭПП-4 ([1]) в отражении по Лауэ в белом излучении выполнены съемки реальных кремниевых структур. Целью съемок было выяснение возможностей топографии, в том числе секционной ([2]), для визуализации различного рода дефектов в реальной структуре, а также полей напряжений, вызванных, в основном, сопряжениями различных элементов данной структуры друг с другом.

К числу таких объектов принадлежит созданная на кремниевой подложке *n*-типа—пластине среза (100)—МДП-структура. Диэлектрическая пленка толщиной 0,55 мкм (SiO_2) была образована окислением поверхности этой пластины в парах воды при 1100°C . После напыления в вакууме алюминиевой пленки на окисленную поверхность подложки на последнюю был нанесен сплошной слой фоторезиста. Литографическим способом были получены круглые островки алюминиевой пленки диаметром 0,7 мм. Между островками слой двуокиси кремния был стравлен вплоть до подложки. При съемке пластина была установлена перпендикулярно к падающему пучку СИ. На рис. 1 показаны полученные за одну съемку топограммы, соответствующие двум рефлексам. Относительно прямого пучка СИ рефлекс *a*) расположен в вертикальном направлении, а рефлекс *б*)—в горизонтальном. Контрастно видны поля напряжений, имеющих на краях островков, а также преципитаты. Последние видны и на секционной топограмме ([1], [2]), приведенной на рис. 2.

Секционная топографическая съемка визуализирует также поля напряжений, имеющих на краях пленки двуокиси кремния



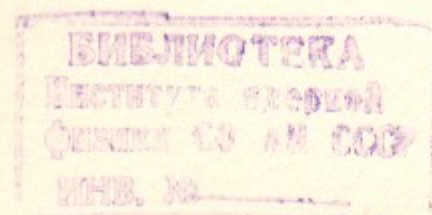
В.19

3

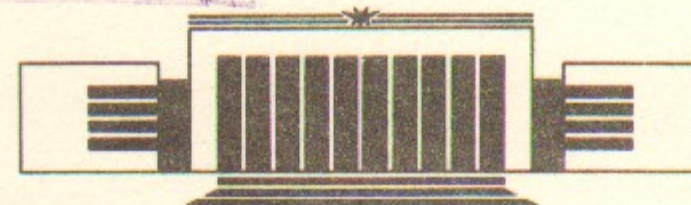
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

А.А. Васенков, Г.Н. Кулипанов, Ю.М. Литвинов,
С.Н. Мазуренко, М.А. Михайлов, В.Е. Панченко

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ РЕАЛЬНЫХ
КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР
В ПУЧКЕ СИ ВЭПП-4



ПРЕПРИНТ 86-120



НОВОСИБИРСК

1986

А.А. Васильев, Г.Н. Кузнецов, Ю.М. Литвинов,
С.Н. Масуринко, М.А. Михайлов, В.Е. Иванченко

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ РЕАЛЬНЫХ
КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР
В ПУЧКЕ СИ ВЭПП-4

ВРЭПРНТ 86-120

НОМОКНЕНЬСЯ

На экспериментальной станции «Топография и дифрактометрия» на пучке СИ накопителя ВЭПП-4 ([1]) в отражении по Лауэ в белом излучении выполнены съемки реальных кремниевых структур. Целью съемок было выяснение возможностей топографии, в том числе секционной ([2]), для визуализации различного рода дефектов в реальной структуре, а также полей напряжений, вызванных, в основном, сопряжениями различных элементов данной структуры друг с другом.

К числу таких объектов принадлежит созданная на кремниевой подложке *n*-типа — пластине среза (100) — МДП-структура. Диэлектрическая пленка толщиной 0,55 мкм (SiO_2) была образована окислением поверхности этой пластины в парах воды при 1100°C . После напыления в вакууме алюминиевой пленки на окисленную поверхность подложки на последнюю был нанесен сплошной слой фоторезиста. Литографическим способом были получены круглые островки алюминиевой пленки диаметром 0,7 мм. Между островками слой двуокиси кремния был стравлен вплоть до подложки. При съемке пластина была установлена перпендикулярно к падающему пучку СИ. На рис. 1 показаны полученные за одну съемку топограммы, соответствующие двум рефлексам. Относительно прямого пучка СИ рефлекс *a*) расположен в вертикальном направлении, а рефлекс *б*) — в горизонтальном. Контрастно видны поля напряжений, имеющих на краях островков, а также преципитаты. Последние видны и на секционной топограмме ([1], [2]), приведенной на рис. 2.

Секционная топографическая съемка визуализирует также поля напряжений, имеющих на краях пленки двуокиси кремния

толщиной 0,44 мкм, созданной на кремниевой подложке со срезом (100) (кремний *n*-типа, легированный фосфором, —КЭФ). В двуокисной пленке были вскрыты окна 2×2 мм² (рис. 3). По-прежнему при съемке пластина была ориентирована перпендикулярно к прямому пучку СИ. При этом двуокисная пленка с окнами в ней была расположена на тыльной стороне пластины. Соответственно изображения полей напряжений примыкают к краям секционных рефлексов, обращенным к проекции прямого пучка на фотопластинку. Изображения этих полей не видны на рефлексе *a*), расположенном в вертикальном направлении относительно прямого пучка СИ. Интерференционные картины распределения интенсивности волнового поля на различных рефлексах под вскрытыми окнами в двуокисной пленке и между ними требуют тщательного анализа и интерпретации в последующем.

Значительный интерес представляют рентгенотопографические съемки монокристаллических пластин кремния, на которых имеются скрайберные риски, проведенные алмазным резцом (скрайбером). Постоянными параметрами при нанесении рисок были скорость резания 50 мм/с и угол между режущей кромкой скрайбера и поверхностью пластины $10 \div 12^\circ$. Исследовались три идентичных кремниевых пластины среза (111) со скрайберными рисками, нанесенными при следующих нагрузках на резец: 30 Г, 60 Г и 120 Г. На каждой пластине в двух различных местах риски были нанесены вдоль двух взаимно перпендикулярных направлений: [112] (полярные направления) и $\langle 110 \rangle$ (неполярные направления). При съемке кремниевые пластины устанавливались перпендикулярно к пучку СИ. Рассматривались рефлексy, в которых проекция вектора дифракции на фотопластинку составляет с рисками угол, близкий к $\frac{\pi}{2}$. В этом случае контраст, то есть размер изображения области деформаций, имеет наибольшее значение. В случае риска вдоль [112] этот угол действительно равен $\frac{\pi}{2}$, в случае риска вдоль $\langle 110 \rangle$ он составляет около 60° . Контраст изображений рисок—обращенный (рис. 4). Размер *D* изображения области деформации, охватывающего изображение риски, естественно, увеличивается с ростом нагрузки на резец. При наибольшем значении последней здесь (120 Г), области деформации двух соседних рисок перекрываются, что, возможно, приводит к некоторому занижению измеряемого размера *D* (см. таблицу). Уменьшение коэффициента

анизотропии, приведенного в таблице, с ростом нагрузки на резец следует считать естественным. При малой нагрузке и, следовательно

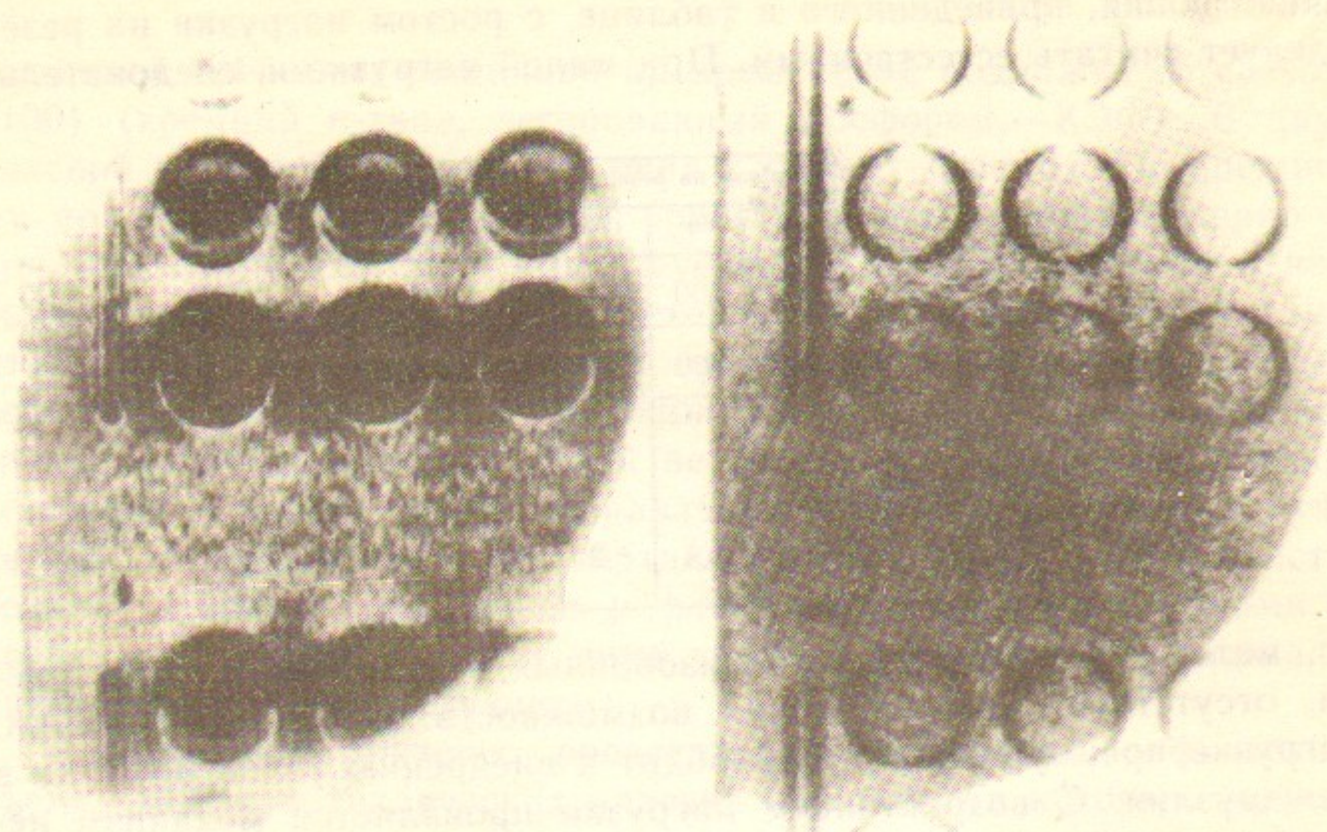
	Нагрузка на резец, Г			Направление скрайбирования
	30	60	120	
<i>D</i> , мкм	600	700	850	[112]
	400	500	700	$\langle 110 \rangle$
Коэффициент анизотропии $\frac{D[112]}{D\langle 110 \rangle}$	1,5	1,4	1,2	

но, малых деформациях, локализованных в узкой зоне вдоль риски, отсутствует энергетическая возможность сброса напряжений: нагрузка преимущественно приводит к внедрению узлов решетки в междоузлия. С возрастанием нагрузки проявляется механизм неоднородного сдвига: образуются многочисленные дислокации, выходящие на стенки риски. Дальнейшее увеличение нагрузки энергетически обеспечивает каналы сброса напряжений за счет трещинообразования и скалывания.

Здесь показано также, что имеется принципиальная возможность получать топографические изображения довольно сложных кремниевых структур при наличии в них поликремниевых матриц, дающих мощный текстурный фон (рис. 5). Объектом съемки была кремниевая структура с диэлектрической изоляцией (КСДИ), содержащая лишь небольшие ячейки монокристаллического кремния (плоскость (111) параллельна пластине) в активных областях прибора—карманах глубиной от 10 до 30 мкм (транзисторах с диффундированными атомами бора, фосфора (под базу и эмиттер соответственно) и золота). Карманы «утоплены» в поликремниевой матрице, будучи изолированными от нее пленками двуокиси кремния. При съемке пластина была расположена перпендикулярно к пучку СИ; карманы были на тыльной стороне пластины.

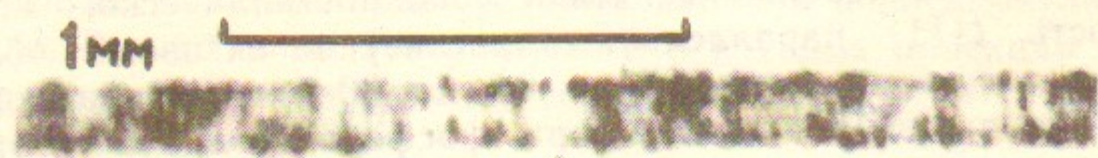
ЛИТЕРАТУРА

1. И. Куб, В.Е. Панченко, М. Полцарова. Препринт 85-108 ИЯФ СО АН СССР (Новосибирск, 1985); ЖТФ (в печ.).
2. А.А. Васенков, Г.Н. Кулипанов, Ю.М. Литвинов, С.Н. Мазуренко, Н.Ф. Моисеенко, В.Е. Панченко. Письма в ЖТФ 11, 1196—1200 (1985).



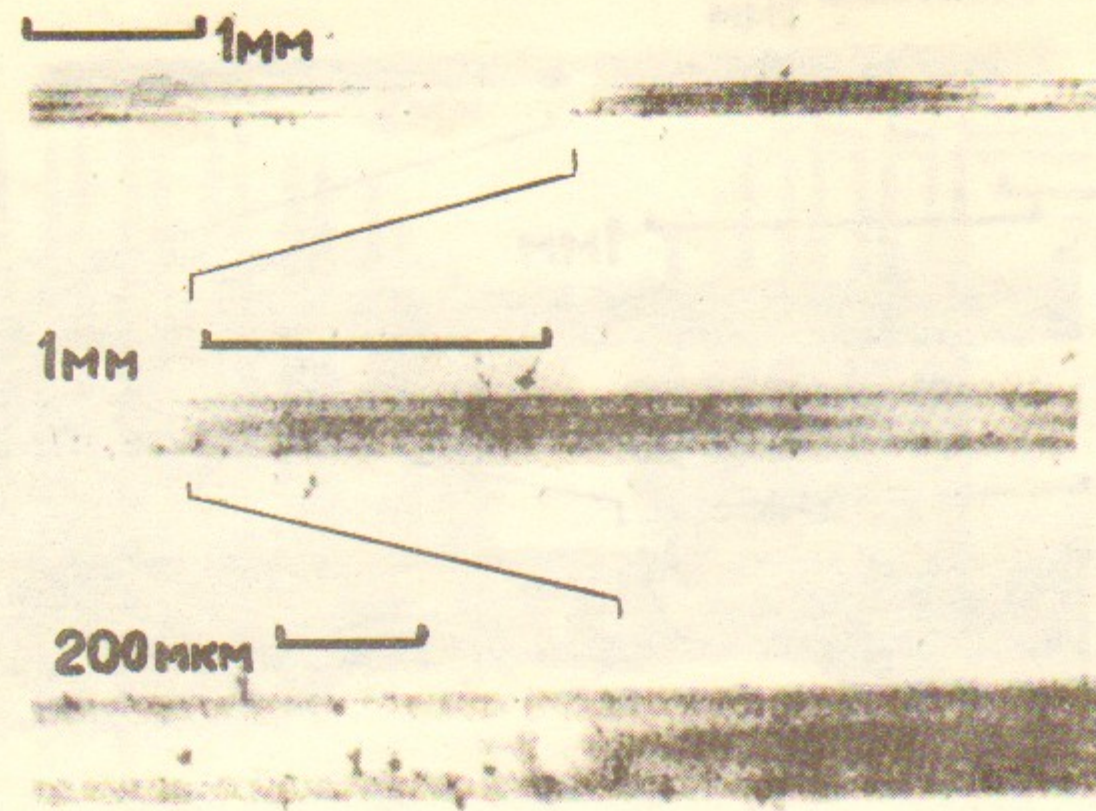
a) $\uparrow \bar{g}$ $\uparrow [110]$ $\theta = 9,8^\circ$ b) $\rightarrow \bar{g}$ $\rightarrow [110]$ $\theta = 5,3^\circ$

Рис. 1.

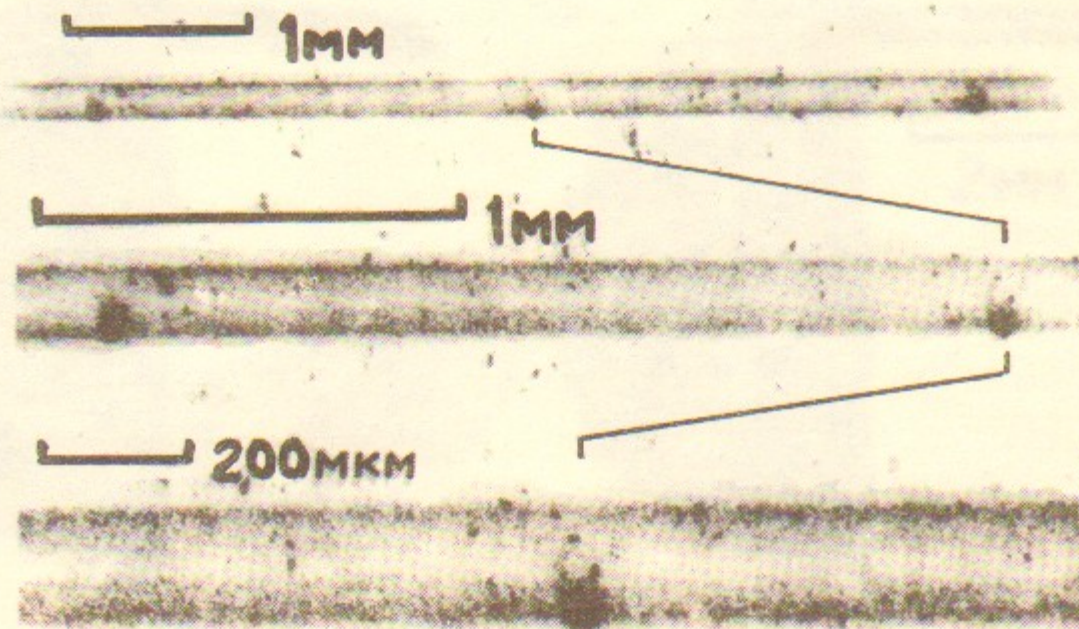


$\uparrow \bar{g}$ $\uparrow [110]$ $\theta = 10,4^\circ$

Рис. 2.

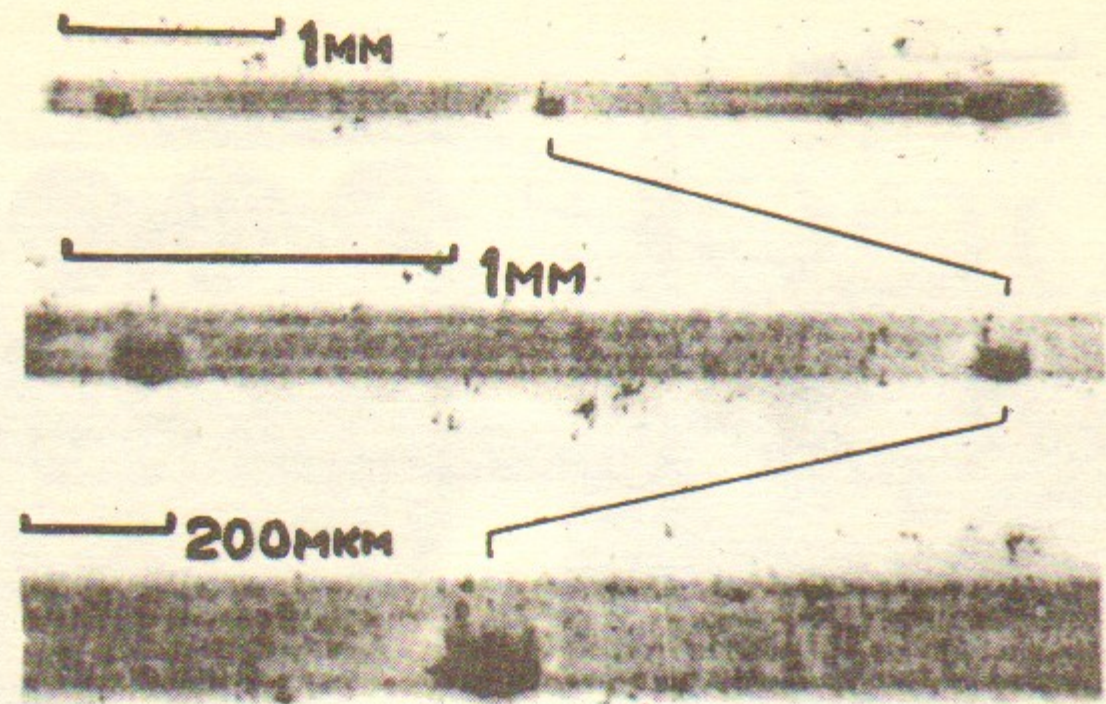


a) $\uparrow \bar{g}$ $\uparrow [110]$ $\theta = 8,8^\circ$



b) $\swarrow \bar{g}$ $\theta = 10,9^\circ$

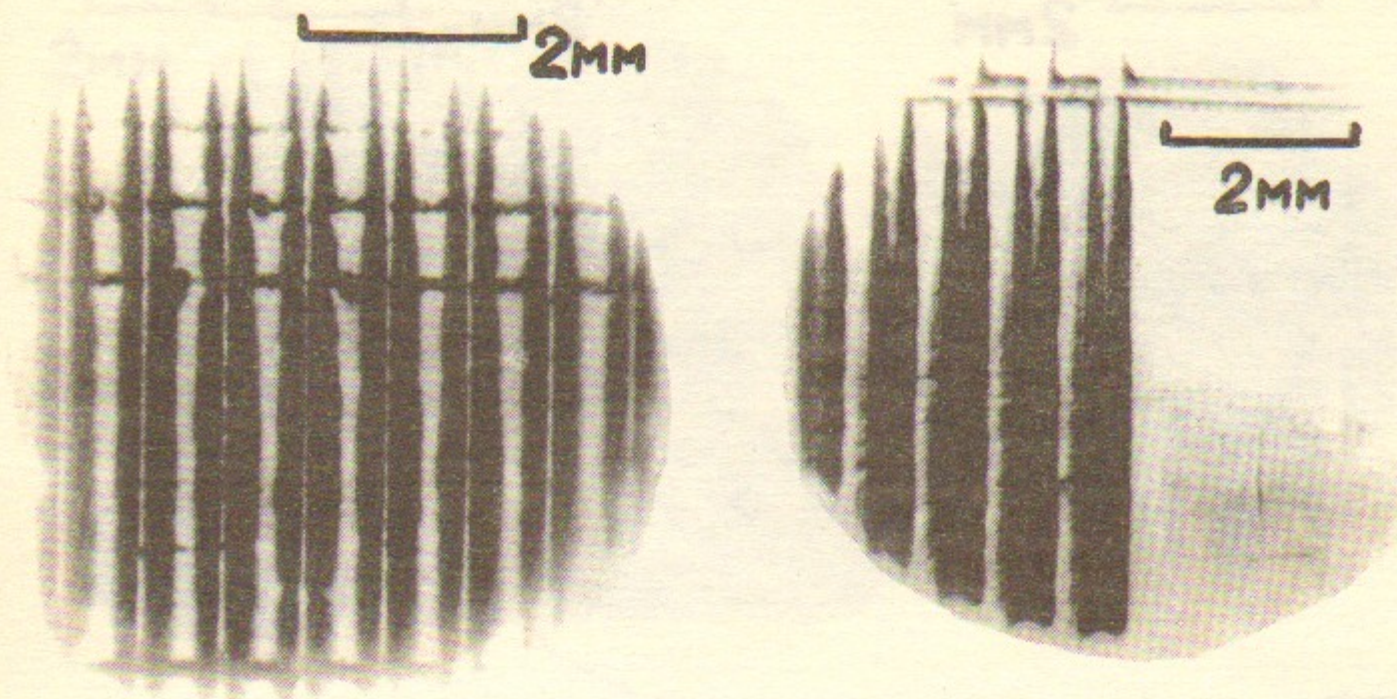
Рис. 3.



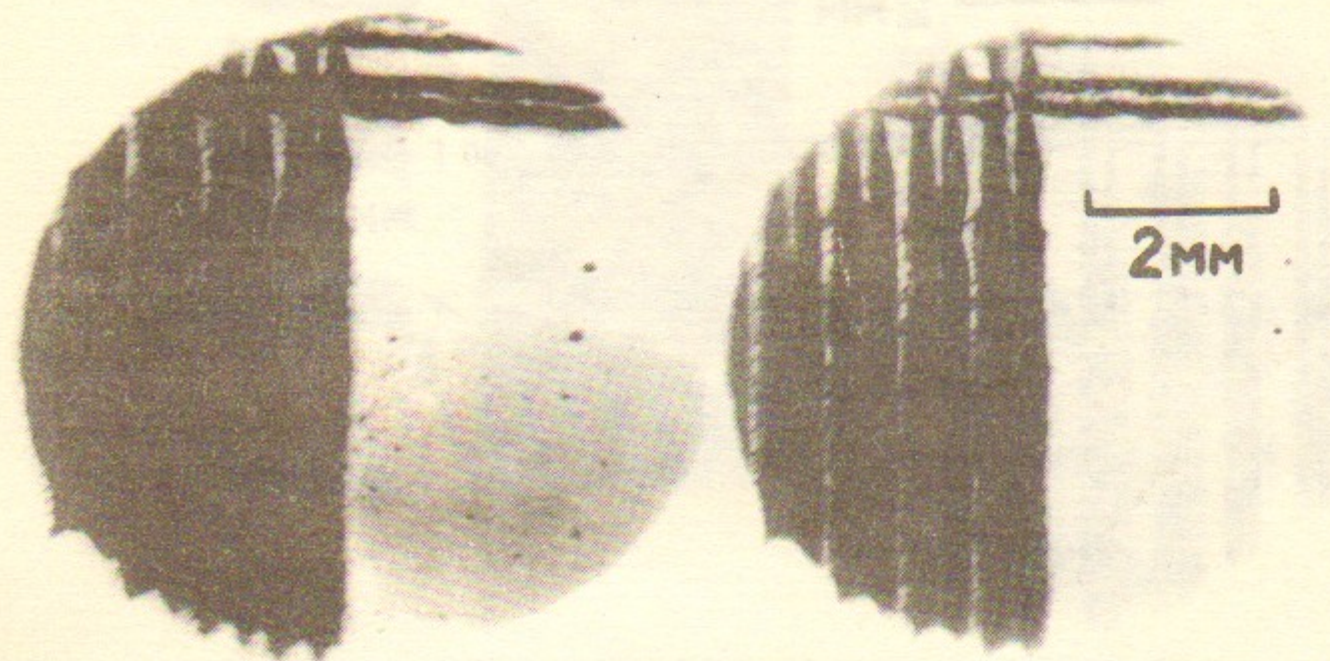
б)

\vec{g} $\theta = 10,2^\circ$

Рис. 3.



\vec{g} 30Γ $[[11\bar{2}]]$ $\theta = 5,9^\circ$ 60Γ $|\langle 110 \rangle$ $\theta = 7,4^\circ$ \vec{g}



120Γ $|\langle 110 \rangle$ \vec{g} $\theta = 7,1^\circ$

Рис. 4.

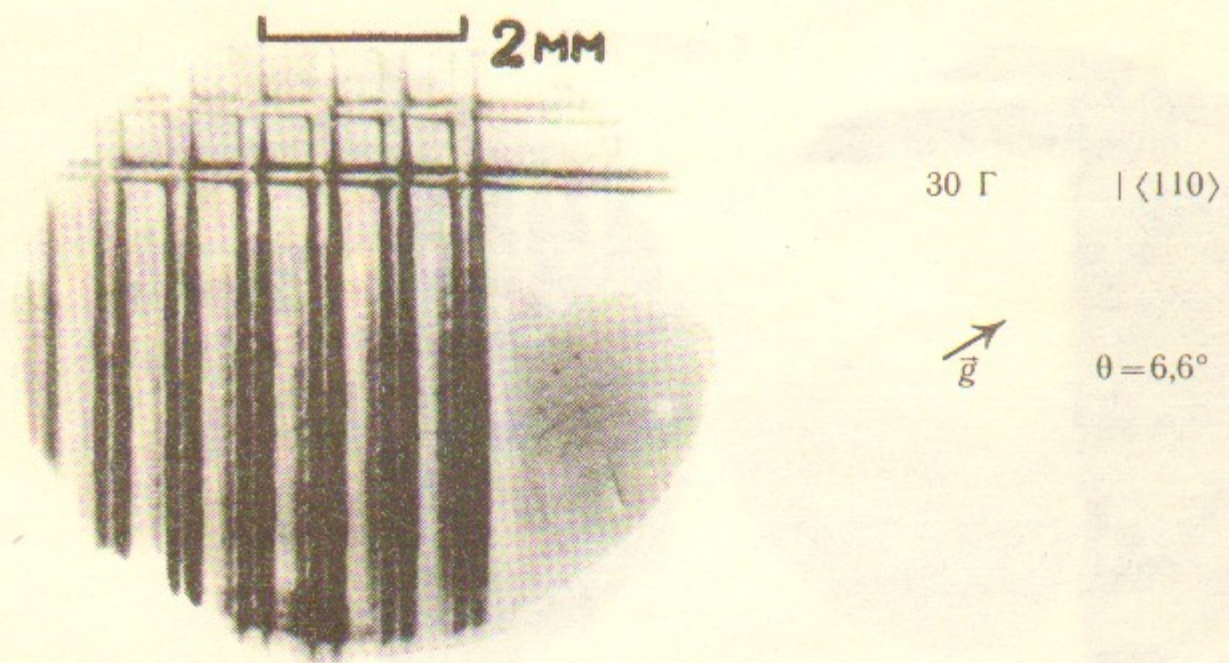
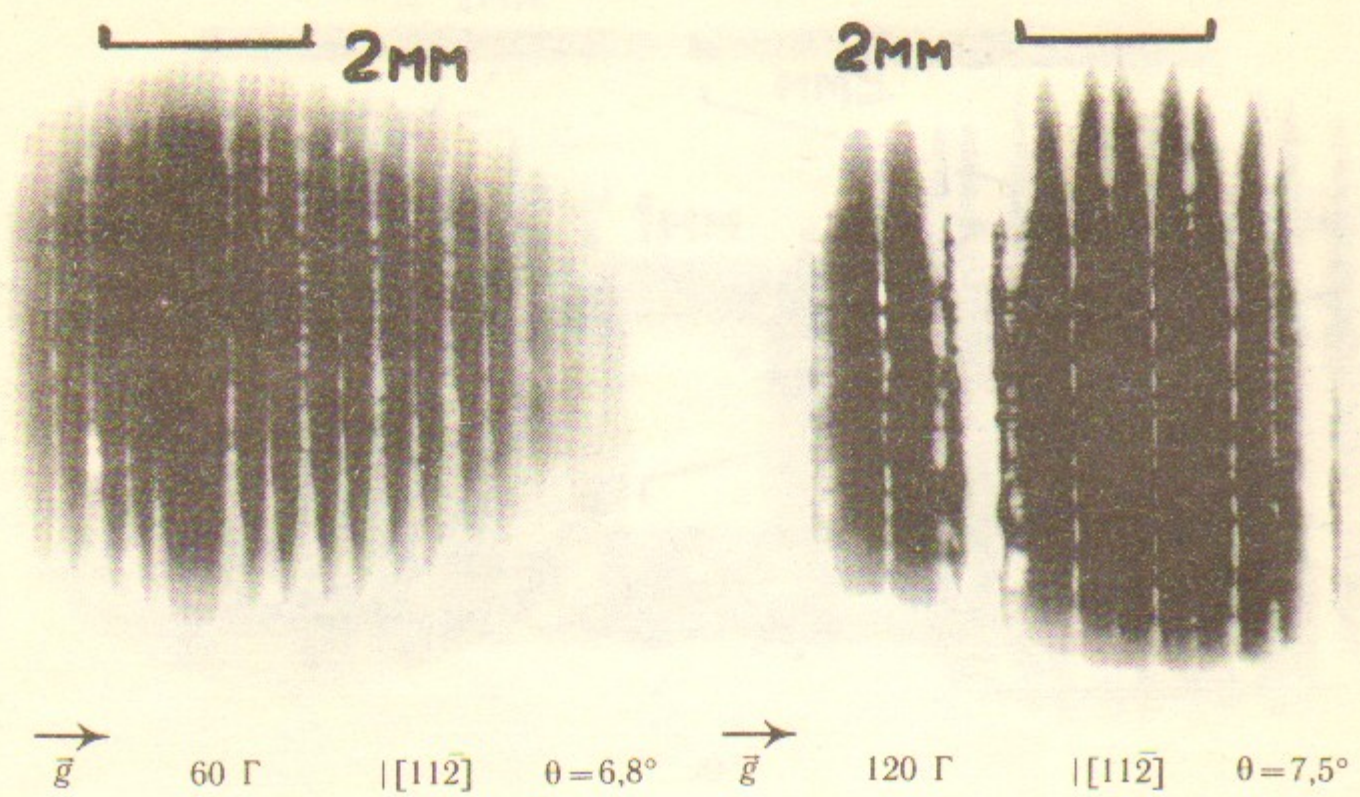


Рис. 4

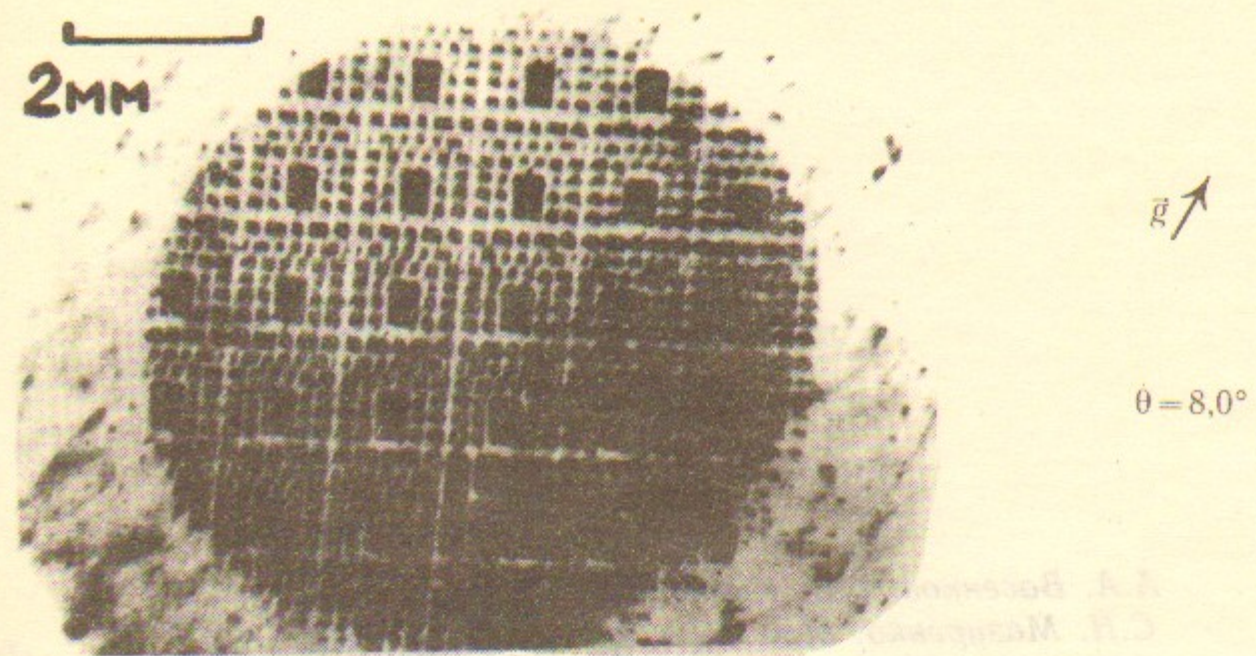


Рис. 5.

*А.А. Васенков, Г.Н. Кулипанов, Ю.М. Литвинов,
С.Н. Мазуренко, М.А. Михайлов, В.Е. Панченко*

**Топографические съемки реальных
кремниевых структур
в пучке СИ ВЭПП-4**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

Работа поступила 23 мая 1986 г.
Подписано в печать 18.08.1986 г. МН 11793
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,8 печ.л., 0,7 уч.-изд.л.
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 120

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапинтере Института ядерной физики
СО АН СССР,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*