

Н. В. АЛЕКСЕЕВ, Л. С. МИЛЕВСКИЙ, Л. П. НОВИКОВА

РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВА СТРУКТУРЫ МОНОКРИСТАЛЛОВ АРСЕНИДА ИНДИЯ

(Представлено академиком Н. В. Алексеевым 5 II 1970)

Методы рентгеновской топографии широко используются для изучения дефектов структуры в монокристаллах германия ⁽¹⁾, кремния ⁽²⁾, а также полупроводниковых соединений типа $A_{III}B_V$ ^(3, 4). Причины образования дислокаций при диффузии примесей в монокристаллы германия ⁽⁵⁾ и кремния ⁽⁶⁾ были изучены с помощью метода аномального прохождения рентгеновских лучей. При диффузии примесей в германий и кремний образуются, как правило, прямолинейные дислокации, параллельные внешней поверхности пластины. Они лежат в области с максимальным градиентом концентрации диффундирующей примеси, причем при увеличении времени диффузионного отжига глубина залегания увеличивается ⁽⁵⁾, дислокации как бы следуют за фронтом диффузии. Образование дислокаций при диффузии мышьяка в германий обсуждалось в работе ⁽⁷⁾.

В монокристаллах различных типов чаще наблюдаются искривленные дислокации, ориентированные под небольшими углами к оси роста ⁽⁸⁾.

В настоящей работе методом аномального прохождения рентгеновских лучей исследовалось совершенство монокристаллов $InAs$.

Методика получения топограмм. Исследованные монокристаллы были получены методом Чохральского с осью роста $[111]$, удельным сопротивлением $0,00024 \text{ ом} \cdot \text{см}$, легированные Te с плотностью дислокации $3,6 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$ и концентрацией примесей $4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Для исследований вырезались плоскопараллельные пластины толщиной 800 м , поверхность которых совпадала с кристаллографическими плоскостями (111) , (110) , (100) . Пластины, вырезанные из слитка, шлифовались на тонком порошке с обеих сторон и доводились до нужной толщины с помощью полирующего травителя следующего состава: 1 ч. HF , 3 ч. HNO_3 , 1 ч. H_2O . Для исследований применялась методика аномального прохождения рентгеновских лучей по Борману с использованием камеры типа Ланга ⁽⁹⁾ на излучении MoK_α и отражений типа $\{220\}$.

Экспериментальные результаты. На рис. 1 представлена топограмма пластины $\{100\}$, вырезанной под углом к оси роста $\langle 111 \rangle$, при отражении от плоскости $\{220\}$. Характерные полосы свидетельствуют о слоистом росте с резко изменяющейся концентрацией легирующей примеси в соседних слоях. Показанная на рис. 1 область является переходной от плоской грани, расположенной в центральной части слитка, к периферийной части, прилегающей к одной из боковых сторон. Слоистость образована наложением колебаний, которые заметно отличаются периодами, и, как следует из приведенного рисунка, они возникли в результате сложения, по крайней мере, двух частот. Подобные эффекты наблюдались ранее на кремнии ⁽¹⁰⁾, но были выявлены по распределению электрически активных примесей, т. е. удельного сопротивления.

Дислокационная структура исследованных кристаллов состоит из хаотически распределенных криволинейных дислокаций смешанного типа (рис. 2) и прямолинейных дислокаций, лежащих в плоскости фронта кристаллизации, плоскости $(11\bar{1})$, вдоль линий пересечения с плоскостями $\{111\}$, наклонными к оси роста, т. е. вдоль направлений $[110]$.

Прямолинейные дислокации имеют контраст двух цветов: белый и черный, подобно дислокациям в германии, возникающим при диффузии мышья-

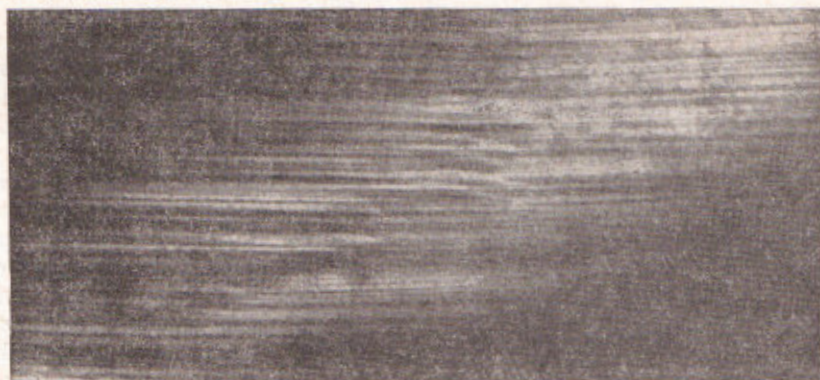


Рис. 1. Топограмма пластины с ориентацией поверхности (100), отражение $\langle 220 \rangle$, метод Бормана, увеличение $20\times$. Слева — область центральной части слитка, справа — область периферийной части слитка

яка (²). При изменении знака ($g\vec{b}$) контраст этих дислокаций изменяется на противоположный. Они являются 60-градусными дислокациями с плоскостью скольжения $\{111\}$ и вектором Бюргерса в направлении $[110]$.

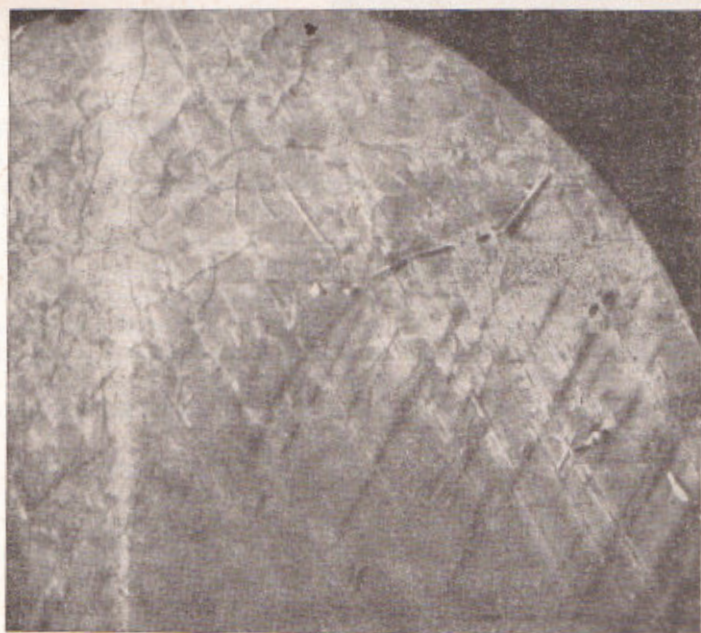


Рис. 2. Дислокации различных типов и частицы второй фазы в кристалле InAs. Ориентация поверхности (111), отражение $\langle 220 \rangle$, метод Бормана. $20\times$

На рис. 2 видно, что интенсивность вдоль линий заметно изменяется от участка к участку, а также в местах пересечения дислокаций из различных систем.

Кроме прямолинейных дислокаций в кристаллах InAs часто наблюдают-ся частицы второй фазы, поле напряжений которых видно на рис. 3.

Розетки, образованные этими частицами, имеют четыре ярко выраженных лепестка — два черных и два других белых, расположенных накрест.

Обсуждение. Механизм образования дислокаций при диффузии мышьяка в германий, предложенный в работе (7), позволяет понять при-



Рис. 3. Изображение дислокаций розеток и частиц второй фазы. Поверхность (111), отражение $\langle 220 \rangle$, метод Бормана. 20 $\times$

чины образования участков прямолинейных дислокаций в выращенных сильно легированных теллуром кристаллах InAs. Согласно этому механизму, диффундирующая в объем пластины примесь вызывает переползание дислокаций на участках, пронизывающих диффузионный слой.

В области с повышенной концентрацией примеси происходит достройка лишней атомной полуплоскости междоузельными атомами из пересыщенного твердого раствора. Это приводит к появлению отрезков дислокаций, параллельных фронту диффундирующей примеси.

Аналогичный процесс возможен, когда дислокация, залегающая в наклонной к оси роста плоскости {111} и выходящая одним концом на фронт кристаллизации, пересекает слой кристалла с повышенной концентрацией примеси. Это приводит к переползанию участка дисло-

кации в области, прилегающей к слою с образованием отрезка прямолинейной дислокации, параллельно фронту кристаллизации.

Наличие вторых фаз (рис. 2 и 3), по-видимому, образованных скоплением атомов Те, свидетельствует о значительном пересыщении твердого раствора в областях с повышенной концентрацией примеси.

Указанный выше процесс, во-первых, приводит к появлению в кристалле участков дислокаций, параллельных фронту кристаллизации, и, во-вторых, при достаточно высокой концентрации легирующей примеси способствует удалению большинства дислокаций из кристалла. На рис. 2 видно, что некоторые дислокации, пройдя большую часть исследованного сечения, вышли на внешнюю поверхность слитка.

По-видимому, не все примеси действуют аналогично теллуру в InAs. Однако можно надеяться, что бор и фосфор в Si, мышьяк в Ge и цинк в GaAs, т. е. примеси, вызывающие появление прямолинейных дислокаций при диффузии в соответствующий материал, должны способствовать удалению ростовых дислокаций из кристалла в процессе вытягивания.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
29 I 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. H. Schwuttke, J. Appl. Phys., 33, 276 (1962).
- ² A. E. Jenkinson, A. R. Lang, In: Direct observation of imperfections in Crystals, N. Y., 471, 1962.
- ³ М. Я. Скороход, Л. И. Даценко, А. Д. Ткаленко, ФТТ, 8, 3 (1966).
- ⁴ Т. И. Ольховикова, И. Л. Шульпина, ФТТ, 10, 7 (1968).
- ⁵ И. М. Суходрева, Л. Д. Черюканова, Электр. тех., 14, 66 (1968).
- ⁶ G. H. Schwuttke, J. Electrochem. Soc., 108, 1, 27 (1962).
- ⁷ Л. С. Милевский, И. М. Суходрева, Л. Д. Черюканова, Материалы Всесоюз. совещ. по деф. структ. в полупровод., ч. 2, Новосибирск, 1969, стр. 287.
- ⁸ A. R. Lang, J. Appl. Phys., 30, 11, 1748 (1959).
- ⁹ В. Ф. Миусков, Кристаллография, 7, 3 (1963).
- ¹⁰ Л. С. Милевский, Кристаллография, 6, 2 (1961).