

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЕЙ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В АНСАМБЛЕ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА

В. П. Мацокин

Харьковский государственный университет
(Поступило в Редакцию 20 апреля 1994 г.
В окончательной редакции 7 декабря 1994 г.)

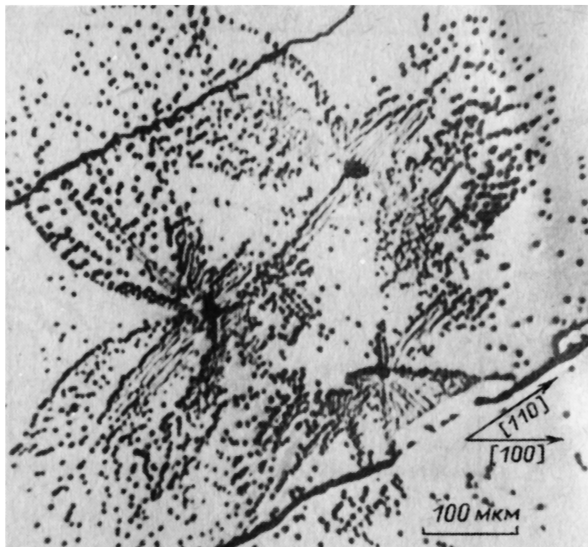
При повышенных температурах процесс образования контакта между дисперсной частицей и плоской поверхностью монокристалла сопровождается возникновением напряжений в области контакта и в непосредственной близости от него. При формировании контакта между одноименными веществами причины возникновения напряжений будут различными при геометрии сфера-плоскость и плоскость-плоскость. В первом случае напряжения вызываются капиллярной силой, приводящей к «индентированию» поверхности подложки [1]; релаксация этих напряжений происходит с образованием дислокационных скоплений, размеры которых превышают линейные размеры контакта [2]. Во втором случае из-за геометрического несовпадения кристаллических решеток дисперсной частицы и монокристалльной подложки непосредственно под контактом формируется дислокационная структура, подобная структуре границы кручения [3].

При образовании контакта между дисперсной частицей и чужеродной подложкой из-за отличия в коэффициентах теплового расширения, различия в размерах атомов и парциальных коэффициентов диффузии контактирующих веществ абсолютные значения возникающих напряжений значительно больше, чем при припекании одноименных кристаллов. Напряжения релаксируют с образованием характерных дислокационных розеток и трещин как в области контакта, так и вне его [4]. Специфика релаксации зависит от вида напряженного состояния в контакте [5]. Так, в случае плосконапряженного состояния в результате релаксации напряжений в тонком приповерхностном слое порядка нескольких микронов образуются дислокационные розетки, состоящие из краевых и винтовых дислокаций и простирающиеся на расстояния, значительно превосходящие размеры области контакта [5].

В ансамбле дисперсных частиц, например в островковых пленках, наличие полей упругих напряжений и дислокаций в области контакта и вне его может повлиять на устойчивость островковых пленок, диффузионный обмен атомами между дисперсными частицами, вызывать их миграцию [6], привести к формированию специфического поверхностного рельефа [7].

Проведенные в данной работе экспериментальные исследования релаксации напряжений в ансамбле дисперсных частиц на поверхности щелочно-галлоидных монокристаллов показали, что, варьируя расположение крупинок и расстояния между ними, можно существенно понизить уровень напряжений, уменьшить вероятность образования тре-

Рис. 1. Дислокационная структура вокруг кристалликов KCl на поверхности (001) монокристалла NaCl: $T = 520^\circ\text{C}$, $t = 0.5\text{ h}$.



щин вблизи контакта и запретить возникновение дислокаций в области между крупинками (рис. 1).¹ Этот рисунок доказывает то, что дислокации в розетках, полученных при плосконапряженном состоянии, как отмечалось выше, возникают в тонком приповерхностном слое кристалла. Действительно, участок поверхности кристалла, представленный на рис. 1, разделен ламелями (ступеньками скола) высотой $\sim 1\ \mu\text{m}$ на три области, расположенные на разных уровнях (понижение от верха рисунка к низу). В нижней части микрофотографии дислокации розетки отсутствуют, т.е. они вышли из кристалла.

Полученные в [5] результаты позволяют проанализировать взаимодействие полей упругих напряжений от ансамбля чужеродных частиц на монокристалльной подложке. На рис. 2 в качестве примера представлены контуры равных напряжений для компоненты σ_{xx} , ответственной за формирование контура розетки [5], для трех одинаковых частиц, создающих в области контакта равные деформации, $\varepsilon > 0$ [5]. Координаты центров частиц следующие: $(-2, -2)$, $(2, -2)$ и $(2, 2)$. Ось X на рис. 2 — направление $[100]$ на плоскости (001) щелочно-галогидного монокристалла. $\tilde{X} = X/r_0$, $\tilde{Y} = Y/r_0$, r_0 — линейный размер дисперсной частицы. Контуры напряжений построены в безразмерных величинах $\tilde{\sigma}_{xx} = \sigma_{xx}/\sigma_0$ ($\sigma_0 = 8(1 + \nu)Gh\varepsilon/\pi r_0$, ν и G — коэффициент Пуассона и модуль сдвига вещества подложки соответственно, h — высота дисперсной частицы) с шагом $\Delta\tilde{\sigma} = 0.05$. Внутри контуров, помеченных знаком 0, напряжения отрицательны, в остальной области — положительны. Наложение полей напряжений от разных частиц приводит к существенному изменению картины распределения напряжений. В частности, для компоненты σ_{xx} вдоль прямой, параллельной оси X , уменьшается градиент напряжений в области между частицами, расположенными в этом направлении. На расстояниях больших расстояния между частицами поле напряжений качественно подобно полю напряжений от отдельной частицы.

¹ Методика эксперимента и расчета напряжений описана в [5].

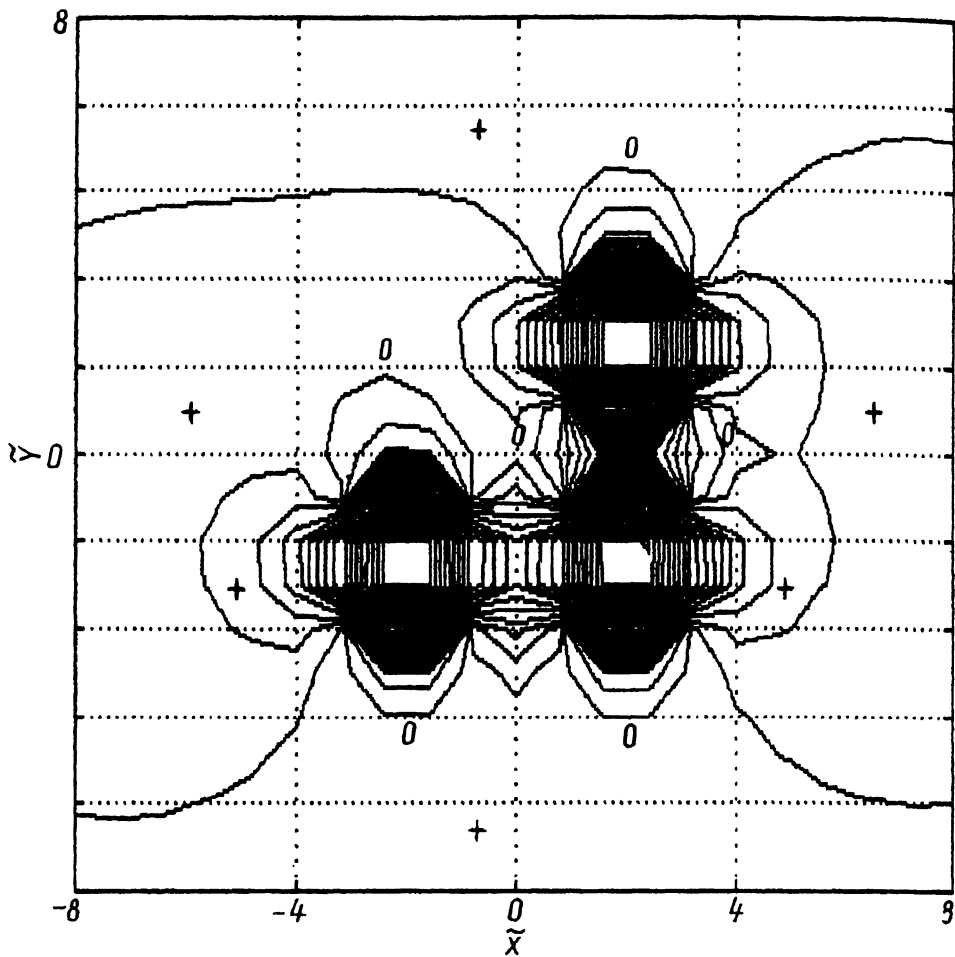


Рис. 2. Контуры равных напряжений σ_{xx} .

Взаимодействие полей напряжений, возникающих в ансамбле дисперсных частиц, и последствия их релаксации необходимо учитывать при использовании островковых пленок и при создании элементной базы в микроэлектронике.

Список литературы

- [1] Гегузин Я.Е., Дзюба А.С., Инденбом В.Л., Овчаренко Н.Н. Кристаллография 18, 4, 800 (1973).
- [2] Just C.S., Morgan C.S. J. Nucl. Mater. 38, 1, 182 (1963).
- [3] Гегузин Я.Е., Дзюба А.С., Мацокин В.П. УФЖ 29, 9, 1419 (1984).
- [4] Гегузин Я.Е., Мацокин В.П., Витарс К. ДАН СССР 237, 1, 82 (1977).
- [5] Мацокин В.П. ФТТ 35, 9, 2455 (1993).
- [6] Гегузин Я.Е., Кагановский Ю.С. Диффузионные процессы на поверхности кристалла. М. (1984), 124 с.
- [7] Kaganovskii Yu.S., Lofaj F., Matsokin V.P. Scripta Met. Mater. 28, 9, 1089 (1993).