

УДК 548.74

КОНТРАСТ КИКУЧИ-ЛИНИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА ПЛОСКОСТЯХ РАЗНЫХ ЗОН

Р.К. КАРАХАНИЯН, К.Р. КАРАХАНИЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 10 марта 2003 г.)

Получены кикучи-электронограммы тонких монокристаллов кремния с обращением контраста кикучи-линий, принадлежащих одной зоне плоскостей, вблизи точечных рефлексов другой зоны. На основе явления двойной дифракции кикучи-электронов показано, что это обращение контраста обусловлено воздействием на формирование кикучи-линий электронных пучков, дифрагированных на плоскостях другой зоны.

Как известно, образование кикучи-электронограмм является результатом динамического рассеяния электронов, и многие особенности контраста кикучи-линий не могут быть объяснены в рамках элементарного механизма образования кикучи-картин [1]. К таким эффектам относится, в частности, обращение контраста кикучи-линий вблизи точечных рефлексов с другими индексами [2-6]. В [2-4] обращение контраста кикучи-линий объяснено на основе динамической теории дифракции электронов. В [5,6] показано, что обращение контраста кикучи-линий можно наглядно объяснить и в рамках элементарного механизма образования кикучи-картин, если учесть явление двойной дифракции кикучи-электронов [7]. Отметим, что в [2-6] обращение контраста кикучи-линий было получено в случае падения первичного электронного пучка вблизи лишь одного кристаллографического направления исследованных образцов, когда наблюдаемые точечные рефлексы и кикучи-линии были обусловлены дифракцией электронов на плоскостях, принадлежащих одной и той же зоне. Хотя можно предположить, что при образовании кикучи-картин возможно и взаимодействие электронных пучков, сформировавшихся в разных зонах плоскостей, каких-либо экспериментальных данных, свидетельствующих о справедливости такого предположения, в литературе нет. В настоящей работе впервые получено и объяснено обращение контраста кикучи-линий в случае, когда электронный пучок, дифрагированный на плоскостях одной зоны, воздействует на контраст кикучи-линий, обусловленных дифракцией электронов на плоскостях другой зоны.

Исследования были проведены с использованием тонких монокристаллов кремния, изготовленных методом химического травления массивных образцов, а кикучи-электронограммы были получены съемкой на прохожде-

ние на электронографе ЭГ-100М при ускоряющем напряжении 100 кВ. На рис.1 приведена кикучи-электронограмма кремния при падении первичного электронного пучка вблизи кристаллографических направлений $[\bar{1}24]$ и $[\bar{1}36]$. Отметим, что угол между этими направлениями близок к 4° , а из самой электронограммы можно найти, что первичный электронный пучок образует с ними примерно равные углы ($\sim 2^\circ$). Такая геометрия съемки является достаточной для одновременной дифракции электронов на плоскостях зон с осями $[\bar{1}24]$ и $[\bar{1}36]$. Действительно, на полученной электронограмме точечные рефлексы и кикучи-линии (462), $(\bar{4}22)$, (840) принадлежат зоне $[\bar{1}24]$, а точечные рефлексы и кикучи-линии (620), (042) принадлежат зоне $[\bar{1}36]$. На рис.1 присутствует также пара линий (711), не принадлежащая ни одной из указанных зон. Индексы оси зоны, соответствующей этой паре линий, не были определены из-за отсутствия на электронограмме других отражений от плоскостей этой зоны.

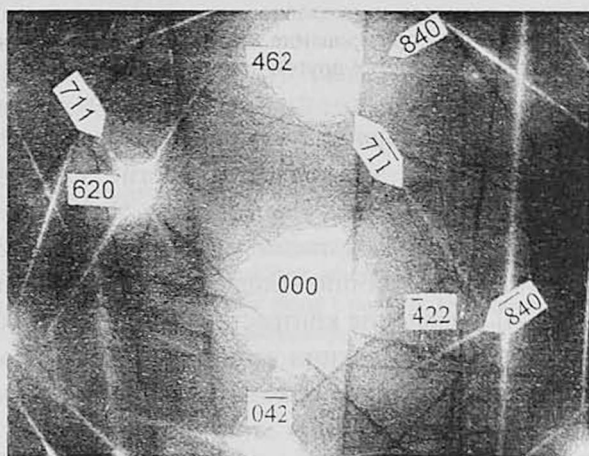


Рис.1. Кикучи-электронограмма кремния с обращением контраста линий (840) и (711).

Перейдем к анализу полученного обращения контраста кикучи-линий. В соответствии с элементарным механизмом образования кикучи-картин на фотографиях темная линия недостаточной интенсивности всегда расположена ближе к нулевому рефлексу, чем соответствующая ей светлая линия избыточной интенсивности. Вопреки этому, на рис.1 кикучи-линия 840, хотя и находится к нулевому рефлексу ближе, чем линия 840, является светлой, а линия 840 – темной. Вблизи точечного рефлекса 620 темная линия недостатка 711 становится светлой, а на противоположащем участке в окрестности рефлекса 462 светлая линия избытка $\bar{7}11$ становится темной. Таким образом, на полученной электронограмме имеет место взаимное обращение контраста пар линий (840) и (711).

Согласно [5,6], обращение контраста кикучи-линий имеет место при

прохождении линии избытка через интенсивный точечный рефлекс или вблизи него. В этом случае соответствующий интенсивный дифракционный пучок распространяется вдоль или вблизи конуса недостаточной интенсивности, приводящего к образованию кикучи-линий с обращенным контрастом. Вследствие этого интенсивность электронных волн вдоль конуса недостаточной интенсивности может стать больше интенсивности волн вдоль соответствующего конуса избытка, что приведет к обращению контраста кикучи-линий.

В данном случае взаимное обращение контраста линий $\overline{840}$ и 840 обусловлено распространением вблизи конуса недостаточной интенсивности этих линий сильных дифракционных пучков 462 и 620. Большая интенсивность рефлексов 462 и 620 обусловлена нахождением соответствующих атомных плоскостей вблизи точного отражающего положения, на что указывает прохождение линий избытка 462 и 620, соответственно, вблизи точечных рефлексов 462 и 620 (рис.1). Как видно из электронограммы, линия 840 проходит на некотором удалении от рефлексов 462 и 620, т.е. дифракционные пучки 462 и 620 не совпадают с конусом недостаточной интенсивности линий (840). Исходя из явления двойной дифракции кикучи-электронов [7], можно заключить, что с этим конусом совпадут электронные пучки, образующиеся при неупругом рассеянии пучков 462 и 620. И если неупругорассеянные волны будут обладать достаточной интенсивностью, то они также приведут к взаимному обращению контраста кикучи-линий. При этом рефлексы 462 и 620 приводят к обращению контраста кикучи-линии 840 в своей окрестности и на противолежащих участках линии $\overline{840}$, соответственно, вблизи рефлексов $\overline{422}$ и $\overline{042}$ (образование запрещенного рефлекса $\overline{042}$ обусловлено двойной дифракцией электронов на плоскостях $3\overline{1}1$ и $\overline{3}11$ зоны [136]).

Отметим, что если взаимное обращение контраста линий (840) вблизи рефлексов 462 и $\overline{422}$ обусловлено взаимодействием формирующих эти линии электронных пучков с дифракционным пучком 462 той же зоны [$\overline{124}$], то обращение контраста этих же линий вблизи рефлексов 620 и $\overline{042}$ обусловлено аналогичным взаимодействием с дифракционным пучком 620, принадлежащим зоне [136].

Если, в соответствии с [7], принять рефлекс 462 в качестве нулевого, т.е. приписать ему нулевые индексы – (000), то рефлекс $\overline{422}$ примет индексы $\overline{840}$, т.е. получится, что линия $\overline{840}$ проходит вблизи рефлекса с теми же индексами, а значит, в соответствии с элементарным механизмом образования кикучи-картин [1], она должна быть линией избыточной интенсивности, т.е. светлой на фотографии вблизи рефлекса $\overline{422}$ (рис.1). Если принять рефлекс 620 за нулевой, то рефлекс $\overline{042}$, вблизи которого также происходит обращение контраста кикучи-линии $\overline{840}$, примет индексы $\overline{662}$, несовпадающие с индексами кикучи-линии 840. Это несовпадение обусловлено тем, что рефлекс 620 и линии (840) принадлежат разным зонам.

На электронограмме (рис.1) линия избытка $\overline{711}$ проходит вблизи

сильного рефлекса 462, и, следовательно, дифракционный пучок 462, распространяясь вблизи конуса недостаточной интенсивности линий (711), увеличивает его интенсивность на соответствующем участке и должен привести к обращению контраста кикучи-линий (711) в окрестности рефлексов 462 и 620. С другой стороны, кикучи-линия недостатка 711 проходит вблизи другого сильного рефлекса 620, а это значит, что дифракционный пучок 620 распространяется вблизи конуса избыточной интенсивности линий (711) и должен привести к усилению контраста линии избытка $\overline{711}$ вблизи рефлекса 462. Таким образом, при формировании линий (711) дифракционный пучок 462 должен привести к обращению их контраста, а пучок 620, напротив, должен усилить их нормальный контраст. Так как на электронограмме (рис.1) наблюдается обращение контраста кикучи-линий (711), то в их формировании вблизи рефлексов 462 и 620 преобладающую роль играет дифракционный пучок 462, а значит рефлекс 462 должен быть интенсивнее рефлекса 620, что и наблюдается на самой электронограмме (рис.1). Укажем, что рефлексы 462, 620 и кикучи-линии (711) образованы дифракцией электронов на плоскостях трех различных зон, но вследствие распространения соответствующих им электронных волн по одинаковым направлениям происходит их взаимодействие, приводящее к обращению контраста этих линий.

Можно заключить, что контраст кикучи-линий данной зоны плоскостей может быть обусловлен не только пучками, дифрагированными в этой же зоне [2-6], но и пучками, образованными при дифракции электронов на плоскостях других зон. Тем самым, экспериментально обнаружено взаимодействие пучков электронов, дифрагированных на плоскостях разных кристаллографических зон.

Работа выполнена в рамках научной темы №00-89, финансируемой из государственных централизованных источников Республики Армения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Томас, М.Дж.Гориндж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. М., Наука, 1983.
2. J.Gjonnes, D.Watanabe. Acta Cryst., 21, 297 (1966).
3. B.S.Miyake, K.Hayakawa, T. Kawamura, Y.H. Ohtsuki. Acta Cryst., 31, 32 (1975).
4. T. Kawamura. Phys. Stat. Solidi (a), 27, 27 (1975).
5. Р.К.Караханян, П.Л.Алексанян. Кристаллография, 44, 438, (1999).
6. Р.К.Караханян. Изв. НАН Армении, Физика, 37, 52 (2002).
7. R.K.Karakhanyan, P.L.Aleksanyan, J.K.Manoucharova. Phys. Stat. Solidi (a), 121, K1 (1999).

KIKUCHI LINES CONTRAST UNDER SIMULTANEOUS ELECTRON DIFFRACTION ON PLANES OF DIFFERENT ZONES

R.K. KARAKHANYAN, K.R. KARAKHANYAN

The Kikuchi patterns of silicon with reversal of Kikuchi lines contrast near the reflections of other zones are obtained. The reversal of contrast is explained in terms of Kikuchi-electrons double diffraction under the influence of electron beams diffracted on the planes of other zones.