

УДК 539.2

К ОБРАЗОВАНИЮ ОКРУЖНОСТЕЙ НА КИКУЧИ-ЭЛЕКТРОНОГРАММАХ

Р.К. КАРАХАНИЯН, К.Р. КАРАХАНИЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 20 июня 2005 г.)

Получены кикучи-электронограммы кремния, содержащие окружности большого радиуса. Показано, что эти окружности обусловлены одномерной дифракцией электронов, имеющей место при их осевом каналировании в кристалле кремния.

Как известно, на кикучи-электронограммах, кроме прямых черно-белых пар линий, могут наблюдаться, в частности, и сплошные окружности. В соответствии с [1], эти окружности являются огибающими кикучи-линий, т.е. сами составлены из прямых кикучи-линий. В отличие от этого, в [2-4] по дифракционным картинам, полученным съемкой на отражение, а в [5] теоретически, образование окружностей объяснено одномерной дифракцией электронов при их каналировании вдоль линейной атомной цепочки. Благодаря указанному осевому каналированию электронов, трехмерная периодичность кристаллической решетки сводится к эффективной одномерной. Дифракция на одномерной периодичности ведет к образованию серии конусов с осью, совпадающей с атомным рядом [6]. Пересечение таких конусов дифрагированных электронов с экраном даст окружности или эллипсы в зависимости от угла между атомным рядом и электронным пучком. Отметим, что образование окружностей при одномерной дифракции электронов можно объяснить и на основе пересечения узлов обратной решетки атомного ряда, являющихся эквидистантными плоскостями (так называемые обратные пластины), со сферой отражения [4].

В связи с наличием двух различных объяснений (кикучи-огибающие и одномерная дифракция) образования окружностей целью настоящей работы является получение новых экспериментальных данных для выяснения природы возникновения этих окружностей. Для этого, в отличие от [2-4], кикучи-электронограммы нами были получены съемкой на прохождение. Это позволило изменять угол между образцом и внешним электронным пучком в более широких пределах, чем в [2-4], и исследовать зависимость образования окружностей от величины указанного угла. Укажем, что дифракционные картины на отражение уже при небольшом изменении ориентации образца относительно электронного пучка исчезают, что является особенностью и определенным недостатком метода съемки электронограмм на отражение [6].

Образцами для исследований служили тонкие монокристаллы кремния, полученные из массивных образцов методом химического травления. Кикучи-электронограммы на прохождение были получены на электронографе ЭГ-100М при ускоряющем напряжении 100 кВ и падении первичного электронного пучка вблизи оси [111] кристалла кремния.

Тонкие кристаллы (≈ 50 нм) кремния дали электронограммы с точечными отражениями, без кикучи-линий и окружностей. На рис.1 приведена кикучи-электронограмма более толстого (≈ 100 нм) кристалла кремния с кикучи-линиями и окружностью, полученная при угле около 1° между первичным электронным пучком и осью зоны [111]. Одновременное отсутствие на электронограммах тонких образцов кремния кикучи-линий и окружностей ясно указывает, в соответствии с [2-5], что окружности формируются неупруго рассеянными электронами, участвующими в образовании кикучи-картин. В тонких образцах интенсивность неупруго рассеянных электронов мала, и поэтому их электронограммы содержат лишь точечные отражения.

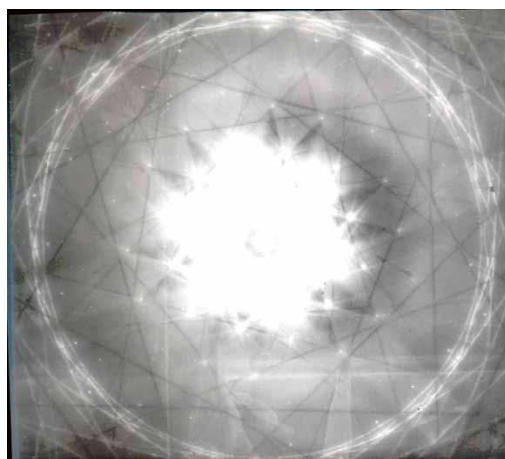


Рис.1 Кикучи-электронограмма кремния с окружностью.

Если принять, что окружность на рис.1 является, в соответствии с [1], огибающей прямых кикучи-линий, то при изменении угла между образцом и внешним электронным пучком эта окружность должна лишь смещаться, не видоизменяясь и не исчезая с экрана электронографа до выхода за его пределы. Но проведенные наблюдения однозначно показали, что при угле между осью зоны [111] и первичным пучком, большим чем $1,2^\circ$, окружность более не наблюдается, хотя при этом геометрически она не выходит за пределы экрана. Следовательно, окружность на рисунке не может являться огибающей кикучи-линий.

Если окружность является следствием одномерной дифракции, то исходя из известного условия Лауэ для дифракции на атомной цепочке [6], из электронограммы легко найти экспериментальное значение постоянной одномерной решетки $a = 0,94$ нм, что очень близко к известной постоянной кристаллической решетки кремния вдоль оси [111] $a = 0,9406$

нм. Если ось зоны [111] не перпендикулярна плоскости экрана, то окружность вырождается в эллипс, что и наблюдается на приводимой электронограмме.

Согласно [3-5], для получения в трехмерном кристалле одномерной дифракции должно иметь место каналирование электронов. В нашем случае неупруго рассеянные электроны при каналировании вдоль оси [111] кристалла кремния подвергаются одномерной дифракции с образованием окружностей. Приводимая на рисунке электронограмма по сути представляет собой наложение двух дифракционных картин: кикучи-линий и окружности. Кикучи-линии образовались вследствие трехмерной дифракции электронов, а окружности – вследствие одномерной дифракции. Если учесть, что каналирование электронов является условием осуществления одномерной дифракции в объемном кристалле, то становится ясной причина исчезновения окружности при угле между электронным пучком и осью зоны [111], большим $1,2^\circ$. Действительно, в соответствии с теорией каналирования заряженных частиц [7], каналирование имеет место в случае, когда угол между направлением движения частиц и осью канала не превосходит значения критического угла, ибо в противном случае частицы выходят за пределы канала. При каналировании электронов с энергией 100 кэВ вдоль оси [111] кристалла кремния критический угол каналирования, в соответствии с [7], равен $1,3^\circ$. Если учесть, что точность измерения углов по кикучи-картинам равна $0,1^\circ$ [1], то имеется хорошее согласие между теоретическим и экспериментально измеренным значением критического угла каналирования.

Таким образом, съемкой кикучи-электронограмм на прохождение показано, что наблюдаемые на них сплошные окружности не являются кикучи-огигающими, а обусловлены одномерной дифракцией электронов при их осевом каналировании в монокристаллическом образце.

ЛИТЕРАТУРА

1. **P.Hirsh, A.Howie, R.Nicholson, D.Pashley, M.Whelan.** Electron microscopy of thin crystals. Malabar, Krieger, 1977.
2. **A.G.Emslie.** Phys. Rev., **45**, 43 (1934).
3. **L.-M.Peng, J.M.Cowley, N.Yao.** Ultramicroscopy, **26**, 189 (1988).
4. **N.Yao, J.M.Cowley.** Ultramicroscopy, **31**, 149 (1989).
5. **С.Л.Дударев.** Письма в ЖЭТФ, **53**, 112 (1991).
6. **З.Г.Пинскер.** Дифракция электронов. М.-Л., изд. АН СССР, 1949.
7. **Й.Линдхард.** УФН, 99, 249 (1969).

ԿԻԿՈՒՉԻ-ԷԼԵԿՏՐՈՆԱԳՐԵՐԻ ՎՐԱ ՇՐՋԱՆԱԳԾԵՐԻ
ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ռ.Կ. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Կ.Ռ. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ

Միլիցիումի բարակ թաղանթների անցումային եղանակով ստացված արագ էլեկտրոնների դիֆրակցիոն կիկուչի-պատկերների միջոցով ցույց է տրված, որ այդ պատկերներում դիտվող շրջանագծերը պայմանավորված են էլեկտրոնների միաչափ դիֆրակցիայով, որը տեղի է ունենում ատոմների զծային շարքի երկայնքով էլեկտրոնների կանալավորման ընթացքում:

FORMATION OF CIRCLES IN KIKUCHI PATTERNS

R.K. KARAKHANYAN, K.R. KARAKHANYAN

By means of transmission high-energy electron diffraction from films of silicon single crystal the continuous circles in the Kikuchi patterns are obtained. It is shown that these circles are caused by the one-dimensional electron diffraction arising at the axial channeling of electrons along rows of atoms.