

ЗАРЯЖЕННЫЕ ДИСЛОКАЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ АНТИМОНИДА ИНДИЯ

*Н. Я. Горидько, П. П. Кузьменко,
Н. Н. Новиков, А. И. Запорожец*

Наличие электрического заряда на дислокациях впервые было выявлено на кристаллах щелочно-галогидных соединений [1]. Как показали многочисленные дальнейшие работы, в зависимости от избытка на дислокации порогов того или иного знака и примесей заряд здесь мог быть как отрицательным, так и положительным и соответственно в электрическом поле заряженные дислокации могли перемещаться как к плюсу, так и к минусу.

Перемещение дислокаций в электрическом поле наблюдалось и в металлах. Впервые этот эффект был рассмотрен в работе [2] и приписан действию «электронного ветра». В этом случае действующая на дислокации сила могла стать заметной при плотностях тока 10^3 — 10^5 А/мм², что было неоднократно подтверждено экспериментально.

В то же время в полупроводниках уже при плотности тока около 2 мА/мм² наблюдается так называемый электромеханический эффект, проявляющийся в заметном изменении микротвердости поверхностных слоев кристалла [3]. Этот эффект имеет место как на элементарных полупроводниках, так и на многих полупроводниковых соединениях, в том числе и на антимониде индия [3]. Заметим, что величина эффекта не зависит от направления тока. Эффект имеет место и на переменном токе. Направленного увлечения дислокаций током здесь не обнаружено.

В то же время теоретически [4] и в немногочисленных экспериментальных работах [4, 5] показано, что дислокации в полупроводниковых кристаллах могут быть отрицательно заряжены за счет акцепторного характера оборванных валентных связей. Однако в области температур, где обычно изучается подвижность дислокаций (600—900 °С у кремния), дислокационные акцепторные центры оказываются уже понижеными и заряд на дислокациях, а следовательно, и изменение их подвижности при освещении кристалла или пропускании тока не обнаруживаются [6].

Поэтому, чтобы избежать этой ситуации, нами в качестве объекта исследований был выбран антимонид индия, где подвижность дислокаций легко наблюдается уже при температурах около 100 °С, несмотря на то что это обычный полупроводниковый кристалл с большой долей валентных связей (85 %) [7]. Заметим, что низкие температуры значительно легче стабилизировать с высокой точностью, а также исключить образование их градиента вдоль образца. Последнее является определяющим в подобных экспериментах.

Исследования проводились на образцах InSb с ориентацией поверхности (111), вырезанных алмазным диском из монокристаллического слитка. Следы реза снимались корундовым абразивом с размером зерна 10 мкм. Поверхности образцов последовательно шлифовались алмазными пастами 10/7, 5/3, 1/0 и доводились до зеркального блеска в химическом полирующем растворе состава $\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{CH}_3\text{COOH} = 5 : 3 : 3$. Размеры образцов составляли $\sim 20.0 \times 3.4 \times 0.3$ мм соответственно по направлениям $\langle 110 \rangle$, $\langle 112 \rangle$, $\langle 111 \rangle$. Ток пропускался вдоль образца (по $[110]$ и $[\bar{1}\bar{1}0]$).

Поскольку при действии сосредоточенной нагрузки в кристалле происходят те же элементарные процессы зарождения, движения и размножения дислокаций, что и при макроскопической деформации, и в настоящей работе был исполь-

зован метод микроиндентирования кристаллов и последующего изучения длины лучей звезд фигур травления.

Образец помещался на поверхности асбестоцементной пластины, находившейся в металлической кювете, служившей термостатом. Кювета заполнялась силиконовым маслом, имеющим достаточно высокую теплопроводность, и нагревалась электрической печью до температуры 140°C . Температура образца измерялась хромель-алюмелевой термопарой с точностью $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Постоянный электрический ток подводился от стабилизированного источника питания ЛИПС-35 к образцу через посеребренные контакты. Кювета с образцом размещалась на предметном столике микротвердомера ПМТ-3. Отпечатки микротвердости наносили при нагрузке на индентор 5 Г. После остывания образец подвергался химическому травлению раствором состава $\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{CH}_3\text{COOH} = 2 : 1 : 3$.

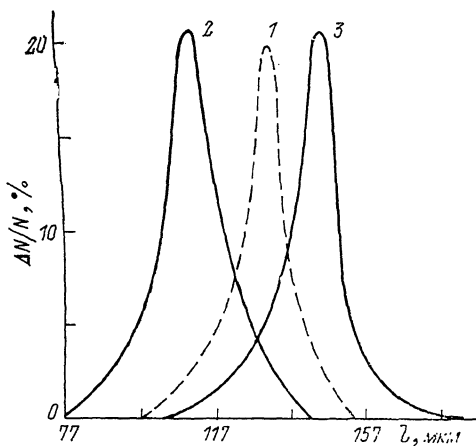


Рис. 1. Гистограммы распределения длин лучей звезд фигур травления на образце без тока (1) и при пропускании через него тока (2, 3).

2 — лучи направлены в сторону отрицательного потенциала на образце, 3 — лучи направлены в сторону положительного потенциала на образце.

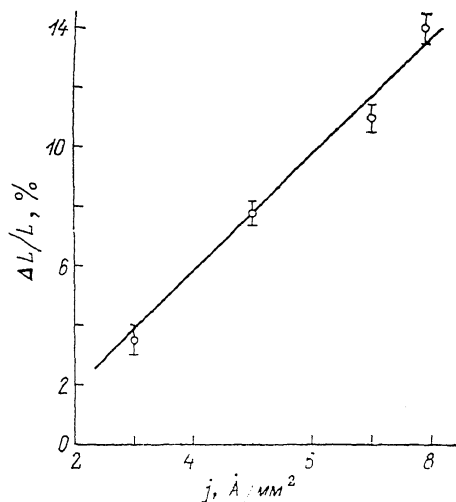


Рис. 2. Зависимость отношения превышения длины лучей, направленных в сторону положительного потенциала, над лучами, направленными в противоположную сторону, к длине последних от плотности тока.

Влияние электрического тока на изменение длины лучей дислокационных розеток, возникающих вокруг отпечатков индентора, исследовалось при плотностях тока 3, 5, 7, 8, $\text{A}/\text{мм}^2$. Наблюдался определенный разброс в длинах лучей дислокационных розеток. С целью уменьшения указанной погрешности при каждом значении и направлении тока наносилось и измерялось ~ 100 отпечатков. В результате среднюю квадратичную погрешность измерения длины лучей удалось уменьшить до 2 %.

Изменение длин лучей дислокационных розеток по причине колебаний температуры на $1-2^{\circ}$ не превышало средней квадратичной погрешности измерений. Измерение температуры поверхности образца показало, что градиент температуры на образце практически отсутствует и не может превышать погрешности ее измерения.

Примеры полученных гистограмм распределения длин лучей звезд фигур травления приведены на рис. 1. Здесь центральная штриховая кривая соответствует случаю отсутствия тока через образец. Слева и справа от нее нанесены

кривые длин лучей, направленных в сторону отрицательного и положительного потенциала на образце. Хорошо видно, что наиболее вероятная длина лучей, направленных к плюсу источника тока, больше. Была изучена зависимость возрастания этой длины с ростом плотности тока через образец. На рис. 2 представлены полученные данные. По оси ординат здесь нанесено отношение превышения длины лучей, направленных в сторону положительного потенциала, над лучами, направленными в противоположную сторону, к длине последних. Во-первых, видно, что подвижность дислокаций, перемещающихся «к плюсу», выше. Во-вторых, она, вероятно, линейно растёт с ростом плотности тока, хотя при плотностях тока меньше 1 А/мм^2 токовый эффект, по-видимому, отсутствует. Последнее может быть связано с наличием порогового значения силы трения, преодолеть которое за счет токовой добавки движущей силы дислокациям становится уже невозможно.

На основании выполненных экспериментов трудно говорить что-либо о механизме наблюдаемого явления токовой интенсификации подвижности дислокаций. Ясно лишь, что оно не связано с электромеханическим эффектом и ввиду малых плотностей тока — с электронным увлечением дислокаций. Вероятнее всего, что здесь имеет место проявление отрицательного заряда дислокаций в кристаллах антимионида индия в конкретных температурно-примесных условиях.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Dekeyser W. // *Phil. Mag.* 1961. V. 6. N 68. P. 997—1001.
- [2] Кравченко В. Я. // *ЖЭТФ*. 1966. Т. 51. № 6 (12). С. 1676—1688.
- [3] Westbrook J. H., Gilman J. J. // *J. Appl. Phys.* 1962. V. 33. N 7. P. 2360—2369.
- [4] Mataré H. F. // *Zs. Naturforschung*. 1955. V. 10a. N 8. P. 640.
- [5] Драченко А. С., Новиков Н. Н. // ДЭП. Р4148. ЦНИИ «Электроника». 10 с.
- [6] Schaumburg H., Schröter W. // *Phys. Lett.* 1969. V. A—30. N 1. P. 21—22.
- [7] Харрисон У. Электронная структура и свойства твердых тел. Т. 1. Физика химической связи. М.: Мир, 1983. С. 157.

Киевский государственный университет
им. Т. Г. Шевченко

Поступило в Редакцию
22 июля 1991 г.

ЭПР ДЫРОЧНОГО ЦЕНТРА В CaF_2 : Na

Ц. А. Гавашели, Р. И. Мирианавили,
О. В. Ромелашвили, Т. И. Санадзе

Самолокализованный дырочный центр (V_K -центр) представляет собой молекулярный ион F_2^- , образованный под действием рентгеновского или γ -облучения при низких температурах. V_K -центры в CaF_2 с температурой распада 138 К и осью симметрии $\langle 100 \rangle$ описаны в работе [1]. Сиерро [2] описал разновидность V_K -центра с той же осью симметрии, но с температурой распада 300 К и приписал его молекуле F_2^- , расположенной около вакансии иона Ca^{2+} . Позднее авторами работы [3] этот тип V_K -центра приписан молекуле F_2^- , образованной около иона Na^+ , который был введен в виде примеси в монокристаллы CaF_2 . Авторами работ [3, 4] наблюдалось еще несколько типов дырочных центров, которые отличаются ориентацией молекулы F_2^- , температурой распада и пара-