

MSC 78A99

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ НА ВЫХОД НЕКОГЕРЕНТНОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский

Белгородский государственный университет,
ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия

При взаимодействии релятивистских заряженных частиц с кристаллами наряду с когерентными эффектами в тормозном излучении, обусловленными периодическим расположением атомов в кристалле, в спектре тормозного излучения присутствует некогерентная составляющая, наличие которой связано с тепловыми колебаниями атомов относительно их положений равновесия. Спектр некогерентного излучения, на первый взгляд, не должен зависеть от ориентации кристалла относительно пучка падающих частиц, однако при движении частиц в кристаллах возможно возникновение явления каналирования, когда частицы движутся в каналах, образованных потенциалами атомных цепочек или плоскостей, которое приводит к перераспределению потока частиц и может оказывать влияние на выход процесса некогерентного тормозного излучения.

Для выявления особенностей ориентационной зависимости выхода некогерентного тормозного излучения частиц в кристалле необходимо проанализировать их траектории движения. Однако поле кристалла существенно неоднородно, движение в таком поле может носить как регулярный, так и хаотический характер. Сильная нелинейность уравнения движения приводит к необходимости применения численных методов определения траекторий движения.

На рисунке представлены траектории электронов и позитронов, полученные с помощью численного решения уравнения движения, и вклад в интенсивность некогерентного тормозного излучения вдоль траектории частицы, рассчитанный с помощью дипольного приближения квазиклассической теории тормозного излучения [1] в соответствии с условиями эксперимента [2].

Из полученных результатов следует, что при углах падения частицы на кристаллографическую плоскость близких к нулю, для большей части точек влета частицы в кристалл имеет место плоскостное каналирование. В режиме плоскостного каналирования электрон проводит большую часть времени движения в кристалле вблизи атомной плоскости (рис. а). Это приводит к существенному увеличению вклада в интенсивность некогерентного излучения. Поскольку в этом случае электрон испытывает в среднем больше столкновений с атомами с малыми прицельными параметрами, чем при движении в аморфной среде, то интенсивность некогерентного излучения будет превышать интенсивность излучения в аморфной среде (при совпадающем числе взаимодействий с атомами). Позитрон, напротив, в режиме плоскостного каналирования находится большую часть времени вдали от атомных плоскостей (рис. d), что приводит к уменьшению выхода некогерентного излучения.

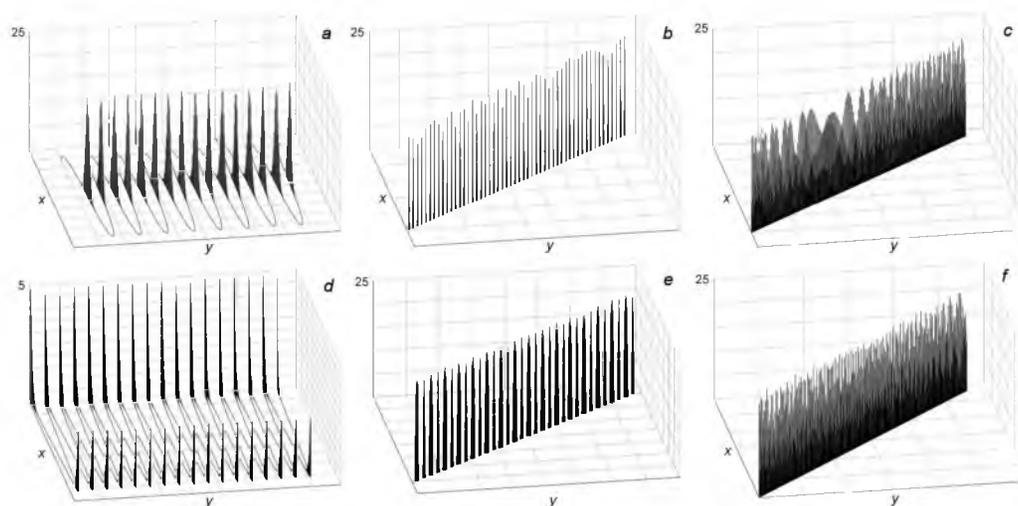


Рис. 1. Типичные траектории движения электронов (сверху) и позитронов (снизу) при различных углах падения на плоскость (110) кристалла типа кремния. По вертикали обозначен вклад в интенсивность некогерентного тормозного излучения от каждого акта взаимодействия частицы.

Если значение угла падения на плоскость близко к критическому углу плоскостного каналирования, энергия поперечного движения частиц становится сравнима с высотой потенциального барьера атомных плоскостей. Надбарьерные позитроны в этом случае проводят большую часть времени вблизи атомных плоскостей кристалла (рис. e), что приводит к увеличению выхода некогерентного излучения. Надбарьерные электроны же легко пролетают сквозь атомные плоскости (рис. b), в результате чего, выход некогерентного излучения понижается.

При углах падения значительно превышающих критический угол плоскостного каналирования энергия поперечного движения частиц будет существенно больше высоты потенциального барьера. В этом случае траектории частиц становится почти прямолинейными (рис. c,f). Для таких траекторий все возможные прицельные параметры столкновений с атомами являются почти равновероятными и интенсивность некогерентного излучения перестает зависеть от ориентации кристалла.

Литература

1. Ахиезер А. И., Шульга Н. Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе / М.: Наука, 1993. – 344 с.
2. Backe H. et al. // Abstracts of the 4th International Conference on Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena. – Ferrara: INFN, 2010. – P.33.