

Гашюца [1], Хаука [2], Косси [3]. В частности, известен результат Косси [3] о том, что произведение нормальных классов Фиттинга является нормальным классом Фиттинга. В настоящей работе мы расширяем указанный результат Косси [3] на случай π -нормальных классов Фиттинга.

Определение. Пусть π – непустое множество простых чисел. Класс Фиттинга $\mathcal{F}$ назовем π -нормальным или нормальным в классе $\mathcal{E}_\pi$ всех конечных разрешимых π -групп, если $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{E}_\pi$ и для любой π -группы G ее $\mathcal{F}$ -радикал является $\mathcal{F}$ -максимальной подгруппой G .

Нами получена

Теорема 1. Если хотя бы один из классов Фиттинга $\mathcal{F}$ или $\mathcal{H}$ – π -нормален, то их произведение $\mathcal{F}\mathcal{H}$ является π -нормальным классом Фиттинга.

Посредством операторов Локетта [4] нами получено обобщение теоремы Хаука [2] на случай разрешимых π -нормальных классов Фиттинга. Этот результат представляет следующая

Теорема 2. Если $\mathcal{F}$ и $\mathcal{H}$ классы Фиттинга такие, что $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{E}_\pi$ и $\mathcal{H} \subseteq \mathcal{E}_\pi$, то следующие утверждения эквивалентны: (a) класс $\mathcal{F}\mathcal{H}$ является π -нормальным; (b) класс $\mathcal{F}^* \mathcal{H}^*$ является π -нормальным; (c) класс $\mathcal{F}^* \mathcal{H}$ является π -нормальным; (d) $\mathcal{F}^* \mathcal{H}^* = \mathcal{E}_\pi$; (e) существует множество простых чисел σ , такое что $\mathcal{F}^* \mathcal{E}_\sigma = \mathcal{F}^*$ и $\mathcal{E}_\sigma \mathcal{H}^* = \mathcal{E}_\pi$, где $\sigma \subseteq \pi$.

Литература

1. Blessohl, D. Über normale Schunk und Fittingklassen / D.Blessohl, W.Gaschütz // Math.Z. – 1970. – Bd.148, N1. – S.1–8.
2. Hauck, P. On products of Fitting classes / P.Hauck. // J. London Math. – 1979. – Soc.(2) 20. – 423–434 p.
3. Cossey, J. Products of Fitting classes. / J. Cossey // Math.Z. – 1975. – Bd. 141. № 9. – S. 289–295.
4. Lockett, P. The Fitting class $\mathcal{F}^*$ / P.Lockett // Math. Z. – 1974. – №137. – 131–136 p.

©БГУ

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ СЛОЕВ С НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В. И. ШЕВЦОВА, П. И. ГАЙДУК

This study is motivated by possible improvements of the solar cell efficiency by using plasmonic nano-structures. Recently, this subject has been recognized as one of the most promising for further development of solar cells due to the consequent reduction of the thickness photovoltaic devices and the possibility of increasing of light absorption via plasmonic effects. In this work, the results of numerical calculations of the optical properties of Si layers with ‘on-surface’ and incorporated plasmonic structures are discussed

Ключевые слова: наночастицы, поверхностные плазмоны, солнечные элементы

В настоящее время большое внимание уделяется разработке тонкопленочных солнечных элементов с кремниевым слоем толщиной 1-2 мкм, что связано с перспективами понижения стоимости солнечной энергии. При этом центральное место занимает развитие плазмонных тонкопленочных солнечных элементов [1-2], в которых для эффективного захвата светового излучения применяются плазмонные структуры, в частности наночастицы металла.

Особенностью металлических наночастиц являются их уникальные оптические свойства [Kelly]. При взаимодействии металлических наночастиц с оптическим излучением возможно возникновение поверхностных плазмонов – возбужденных светом коллективных колебаний электронов проводимости металла вблизи его границы раздела с диэлектриком [3]. Возбуждение поверхностных плазмонов сопровождается нелинейными оптическими эффектами, связанными с усилением поглощения и рассеяния света и концентрацией электромагнитного поля вблизи металлической поверхности наночастиц. Данные эффекты могут быть успешно использованы для повышения эффективности солнечных элементов. Так, металлические наночастицы на поверхности солнечных элементов могут быть использованы в качестве дополнительных рассеивающих центров, увеличивая оптический путь фотонов длинноволновой области спектра. Путем инкорпорирования наночастиц металла непосредственно в кремниевый слой возможно использование усиленного локального поля вблизи металлической поверхности, которое способно приводить к увеличению поглощения в прилегающих слоях полупроводникового материала. В настоящей работе проведено численное моделирование оптических свойств кремниевого слоя с расположенными на поверхности (рассеивающие центры) либо внутри (поглощающие центры) наночастицами золота и серебра.

Результаты численного моделирования показывают, что использование массива наночастиц серебра в качестве рассеивающих центров способно повысить поглощающую способность кремниевого слоя до 25%. При этом, максимальное усиление наблюдается при радиусе частиц 50 нм. Для наноча-

стиц золота, несмотря на некоторое усиление при радиусе частиц 25 нм, в целом наблюдается значительное уменьшение поглощающей способности кремниевого слоя, что может быть связано с высоким коэффициентом поглощения наночастиц золота в коротковолновом диапазоне.

По результатам численного моделирования установлено, что при оптимальных параметрах инкорпорированные наночастицы золота и серебра могут способствовать повышению поглощающей способности кремниевого слоя вплоть до 120%. При этом часть энергии может теряться при поглощении света непосредственно наночастицами металла без дальнейшей передачи в диэлектрическое окружение, данный эффект в рассматриваемой модели не учитывается.

Литература

1. *Altwater H., Polman A.* Plasmonics for improved photovoltaic devices // *Nature Materials* 9, P. 205–213.
2. *Ferry V., Munday J., Atwater H.* Design Considerations for Plasmonic Photovoltaics // *Advanced Materials* 22, P. 4794–4808.
3. *Kelly L. K., Coronade E., Zhao L.L., Schatz G.* The optical properties of metal nanoparticles: the influence of size, shape, and dielectric environment // *J. Phys. Chem. B*, 107(3), P. 668-677.