**İTÜ**

**lisansüstü DERS KATALOG FORMU**

**(graduate Course Catalogue ForM)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Dersin Adı** | **Course Name** |
| Güneş Hücreleri Fiziği | Physics of Solar Cells |
| **Kodu****(Code)** | **Yarıyılı****(Semester)** | **Kredisi****(Local Credits)** | **AKTS Kredisi****(ECTS Credits)** | **Ders Türü****(Course Type)** |
| EBT615 | Güz/Fall | 3.0 | 7.5 | DoktoraPh.D. |
| **Bölüm / Program****(Department/Program)** | Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı / Enerji Bilim ve Teknoloji Lisansüstü ProgramıEnergy Science and Technology Division / Energy Science and Technology Program |
| **Dersin Türü****(Course Type)** | Seçmeli(Elective) | **Dersin Dili****(Course Language)** | Türkçe (Turkish) |
| **Dersin İçeriği****(Course Description)***30-60 kelime arası* | Bu ders; fiziksel süreç ve sınırlamalarıyla birlikte güneş hücrelerinin fiziğini kapsamaktadır. Ders temel olarak elektromanyetik ışınımın elektriğe dönüşümünün sınırları ile birlikte güneş hücrelerindeki temel süreçler ve güneş ışınımının yarı-iletkenlerle etkileşmeleri üzerine sağlam bir alt yapı oluşturulmasını sağlayacaktır. Ayrıca güneş hücrelerinin verimlerini artırmaya yönelik yeni yöntemler ve son yıllardaki R&D çalışmaları üzerine tartışmaları içerecektir. |
| This course covers the subjects of solar cell physics with emphasis on the physical processes and their limitations. The course mainly provides a solid background on the interaction of solar radiation with semiconductors and the fundamental processes in solar cells as well as the limitations on conversion of electromagnetic radiation into electricity. Furthermore, some new methodes for improving the efficiency of solar cells and the recent R&D works are discussed. |
| **Dersin Amacı****(Course Objectives)***Maddeler halinde 2-5 adet* | 1. Güneş hücrelerinin yarı iletken yapılarını ve güneş ışınımı ile etkileşmelerini anlatmak2. Güneş hücrelerin fiziğini, hücre içindeki fiziksel mekanizmaları ve limitleri vurgulayarak tanıtmak3. Güneş pilleri konusunda ArGe çalışmaları yapabilecek insan kaynağının yetiştirilmesi |
| 1. To explain semiconductor structures and its interactions with solar radiation2. To introduce solar cell physics with emphasis on the physical processes and its limitations3. To educate students who can participate into R&D projects on solar cells |
| **Dersin Öğrenme** **Çıktıları** **(Course Learning Outcomes)***Maddeler halinde 4-9 adet* | Bu dersi başarıyla tamamlayan doktora öğrencileri aşağıdaki konularda bilgi, beceri ve yetkinlik kazanırlar ;1. Güneş ışınımı, fotoelektrik etki ve enerji dönüşümü konularındaki temel bilgileri kullanabilmek
2. Yarıiletkenlerin yapısı ve yarıiletkenlerde elektron-boşluk transportunu fiziksel ve matematiksel olarak ifade edebilme ve çözümleyebilme
3. Güneş hücrelerinin yapısını, temel mekanizmaları, p-n bağlantısının karakteristikleri ve yarıiletken-metal kontakları anlamak
4. Güneş hücrelerinde enerji dönüşümü, dönüşüm veriminin malzeme ve çalışma parametrelerine bağımlılıklarını modellemek, güneş hücreleri konusundaki temel araştırmaları takip edebilmek
 |
| Ph.D. students who successfully pass this course gain knowledge, skills and proficiency in the following subjects;1. To use basic knowledge on solar radiation, photoelectric effect and energy conversion
2. To express physical structure of semiconductors and to analyze electron-hole transport by using  physical and mathematical expressions
3. To understand the structure of solar cells, basic mechanisms, characteristics of p-n junctions and semiconductor-metal contacts
4. To model energy conversion in solar cells and the dependencies of energy conversion efficiency on operating parameters and material properties, to follow basic researches on solar cell technologies.
 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Ders Kitabı****(Textbook)** |  |
| **Diğer Kaynaklar****(Other References)***Maddeler halinde en çok 5 adet* | 1. Würfer, P., Physics of Solar Cells: From Principles to New Concepts, Wiley-VCH, Darmstadt, 2005.
2. Nelson, J., The Physics of solar cells, Imperial College Press, London, 2003.
3. Ashcroft, N.W., Mermin, N.D., Solid State Physics, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1976.
4. Singh, Jasprit, Semiconductor devices, John Wiley & Sons Inc., New York, 2001.
5. Goetzberger, A., Hoffmann, V.U., Photovoltaic Solar Energy Generation, Springer, Berlin, 2005.
 |
| **Ödevler ve Projeler****(Homework & Projects)** | Öğrencilerin dersi daha iyi öğrenmelerine yardım etmesi amacıyla dönem boyunca 6 tane haftalık ödev verilecek ve bunlar bir hafta sonra toplanacaktır.  |
| To help students for learning and comprehending the course material better, 6 problem sets should be assigned throughout the semester, and their solutions should be returned back in the subsequent week. |
| **Laboratuar Uygulamaları****(Laboratory Work)** |  |
|  |
| **Bilgisayar Kullanımı****(Computer Use)** |  |
|  |
| **Diğer Uygulamalar****(Other Activities)** |  |
|  |
| **Başarı Değerlendirme****Sistemi** **(Assessment Criteria)** | **Faaliyetler****(Activities)** | **Adedi****(Quantity)** | **Değerlendirmedeki Katkısı, %****(Effects on Grading, %)** |
| **Yıl İçi Sınavları****(Midterm Exams)** | **1** | **% 30**(30 %) |
| **Kısa Sınavlar****(Quizzes)** |  |  |
| **Ödevler****(Homework)** | **6** | **% 30**(30 %) |
| **Projeler****(Projects)** |  |  |
| **Dönem Ödevi/Projesi****(Term Paper/Project)** |  |  |
| **Laboratuar Uygulaması****(Laboratory Work)** |  |  |
| **Diğer Uygulamalar****(Other Activities)** |  |  |
| **Final Sınavı****(Final Exam)** | **1** | **% 40**(40 %) |

**Ders Planı**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Hafta** | **Konular** | **Dersin** **Çıktıları** |
| **1** | Güneş hücreleri, fotoelektrik etki ve fotovoltaik enerji dönüşüm ilkeleri | 1 |
| **2** | Foton, kara cisim radyasyonu, foton yoğunluğu, foton enerji dağılımı, güneş spektrumu, yutulma ve yayınım, spektrum üzerinde atmosferik etkiler | 1 |
| **3** | Enerji akısı, Stefan-Boltzmann ışınım yasası, kara cisim dışındaki malzemeler için Kirchoff kanunu, güneş ışınımının yoğunlaştırılması, Abbe sine koşulu, geometrik optic | 1 |
| **4** | Yarı iletkenlerde elektron davranışı, dağılım fonksiyonu, hal yoğunluğu, boşluklar, katkılama, Fermi enerjisi, enerji bantları, iş fonksiyonu  | 2 |
| **5** | Işınımın yarı iletkenlerle etkileşmeleri, fotonların yarı iletken yapılarda yutulması, elektron ve boşlukların üretimi, direk ve endirek geçişler, ışınımsal ve ışınımsal olmayan yeniden birleşmeler, elektron-boşluk çiftinin ömrü | 2 |
| **6** | Elektron-boşluk transportu, alan akımı, difüzyon akımı, difüzyon uzunluğu, relaksasyon, | 2 |
| **7** | Azınlık taşıyıcıların difüzyon uzunluğu, dielektrik relaksasyon, ambipolar difüzyon, Dember etkisi | 2 |
| **8** | Bir güneş hücresinde temel mekanizmalar, pn-eklemi, karanlıktaki bir pn-ekleminde elektronların elektrokimyasal dengesi, pn-eklemi boyunca potansiyel dağılım ve pn-ekleminin akım-gerilim karakteristikleri | 3 |
| **9** | Satürasyon ve kısa devre akımlarının türetilmesi, yarıiletken-metal kontakları, Schottky kontağı, MIS kontağı, güneş hücrelerinde elektrik alanın rolü, | 3 |
| **10** | Güneş hücrelerinde enerji dönüşümünün sınırları, maksimum verim, enerji boşluğunun fonksiyonu olarak verim, optimal silicon güneş hücreleri | 4 |
| **11** | İnce film güneş hücreleri, eşdeğer devreler, açık devre geriliminin sıcaklık bağımlılığı, verimin ışınım yoğunluğuna bağımlılığı, güneş hücrelerinde enerji dönüşüm süreçlerinin verimleri  | 4 |
| **12** | Güneş hücrelerinde verim artırım kavramları, ardışık (tandem) hücreler, ardışık hücrelerin elektriksel bağlantıları, yoğunlaştırıcı hücreler, termal-fotovoltaik enerji dönüşümü | 4 |
| **13** | Çarpışma iyonizasyonu, sıcak elektron ve boşlukla enerji dönüşümü | 4 |
| **14** | Üç seviyeli sistemlerde iki aşamalı uyarım, safsızlık fotoelektik etki, güneş hücrelerinde araştırmanın geleceği | 4 |

**COURSE PLAN**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Weeks** | **Topics** | **Course Outcomes** |
| **1** | Solar cells, photoelectric effect and principles of photovoltaic energy conversion | 1 |
| **2** | Photon, black-body radiation, photon density, photon energy distribution, solar spectrum, absorption and emission, atmospheric effects on solar spectrum | 1 |
| **3** | Energy flux, Stefan-Boltzmann radiation law, Kirchoff law of radiation for non-black bodies, concentration of solar radiation, Abbe sine condition, geometric optic | 1 |
| **4** | Electrons in semiconductors, distribution function, density of states, holes, doping, Fermi energy, energy bands, work function  | 2 |
| **5** | Interactions of radiation with semiconductors, absorption of photons in semiconductors, generation of electron and hole, direct and indirect transitions, radiative and non-radiative recombinations, lifetime of electron-hole pairs  | 2 |
| **6** | Transport of electron-hole, field current, diffusion current, diffusion length, relaxation  | 2 |
| **7** | Diffusion length of minority carriers, dielectric relaxation, ambipolar diffusion, Dember effect  | 2 |
| **8** | Basic mechanism in solar cells, pn-junction, electrochemical equilibrium of electron in a pn-junction in the dark, potential distribution across a pn-junction, current-voltage characteristics of a pn-junction | 3 |
| **9** | Derivation of saturation and short circuit current, semiconductor-metal contact, Schottky contact, MIS contact, the role of the electric field in solar cells | 3 |
| **10** | Energy conversion limits in solar cells, maximum efficiency, efficiency of solar cells as a function of their energy gap, the optimal silicon solar cells | 4 |
| **11** | Thin film solar cells, equivalent circuit, temperature dependency of the open-circuit voltage, intensity dependency of the efficiency, efficiencies of the individual energy conversion processes | 4 |
| **12** | Concepts of improving the efficiencies of solar cells, tandem cells, the electrical interconnection of tandem cells, concentrator cells, thermo-photovoltaic energy conversion | 4 |
| **13** | Impact ionization, energy conversion with hot electrons and holes | 4 |
| **14** | Two step excitation in three level systems, impurity photovoltaic effect, future researches on solar cells  | 4 |

## Dersin “Enerji Bilim ve Teknoloji Doktora Programı”yla İlişkisi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Programın mezuna kazandıracağı bilgi, beceri ve yetkinlikler (programa ait çıktılar)** | **Katkı Seviyesi** |
| **1** | **2** | **3** |
| **i.** | Yüksek lisans yeterliliklerine dayalı olarak, enerji alanındaki güncel ve ileri düzeydeki bilgileri özgün düşünce ve/veya araştırma ile uzmanlık düzeyinde geliştirip, derinleştirerek, alanına yenilik getirecek özgün tanımlar oluşturup, disiplinlerarası etkileşimi kavrayabilme; yeni ve karmaşık fikirleri analiz, sentez ve değerlendirmede uzmanlık gerektiren bilgileri kullanarak özgün sonuçlara ulaşabilme (*bilg*i). |  |  | + |
| **ii.** | Enerji alanındaki yeni bilgileri sistematik bir yaklaşımla değerlendirip kullanarak, yenilik getiren, bir düşünce, yöntem, tasarım ve/veya uygulama geliştirebilme ya da bilinen bir düşünce, yöntem, tasarım ve/veya uygulamayı farklı bir alana uygulayabilme, özgün bir konuyu araştırıp, kavrayarak tasarlayabilme, uyarlayabilme ve uygulayarak yeni ve karmaşık düşüncelerin eleştirel analizini, sentezini ve değerlendirmesini yapıp çalışmalarında araştırma yöntemlerini kullanabilmede üst düzey beceriler kazanmış olma (*beceri*). |  |  | **+** |
| **iii.** | Enerji alanına yenilik getiren, yeni bir düşünce, yöntem, tasarım ve/veya uygulama geliştiren ya da bilinen bir düşünce, yöntem, tasarım ve/veya uygulamayı enerji alanına uygulayan özgün bir çalışmayı bağımsız olarak gerçekleştirerek, enerji alanındaki ilerlemeye katkıda bulunup, en az birer adet bilimsel makaleyi ulusal ve uluslararası hakemli dergilerde yayınlayarak bilginin sınırlarını genişletebilme *(Bağımsız Çalışabilme ve Sorumluluk Alabilme Yetkinliği).* |  |  | + |
| **iv.** | Özgün ve disiplinlerarası sorunların çözümlenmesini gerektiren ortamlarda liderlik yaparak yaratıcı ve eleştirel düşünme, sorun çözme ve karar verme gibi üst düzey zihinsel süreçleri kullanarak enerji alanı ile ilgili yeni düşünce ve yöntemler geliştirebilme *(Bağımsız Çalışabilme ve Sorumluluk Alabilme Yetkinliği). (Öğrenme Yetkinliği).* |  | + |  |
| **v.** | Sosyal ilişkileri ve bu ilişkileri yönlendiren normları eleştirel bir bakış açısıyla inceleyebilme, geliştirebilme ve gerektiğinde değiştirmeye yönelik eylemleri yönetebilme *(İletişim ve Sosyal Yetkinlik).*  | + |  |  |
| **vi.** | Bir yabancı dili ileri düzeyde kullanarak yazılı, sözlü ve görsel iletişim kurup tartışarak, uluslararası platformlarda, uzman kişiler ile enerji alanındaki konuların tartışılmasında özgün görüşlerini savunabilme ve yetkinliğini gösteren etkili bir iletişim kurabilme *(İletişim ve Sosyal Yetkinlik).*  |  | + |  |
| **vii.** | Enerji alanındaki bilimsel, teknolojik sosyal veya kültürel ilerlemeleri tanıtarak, yaşadığı toplumun bilgi toplumu olma ve bunu sürdürebilme sürecine katkıda bulunarak, sorunların çözümünde stratejik karar verme süreçlerini de kullanıp, işlevsel etkileşim kurarak toplumsal, bilimsel, kültürel ve etik sorunların çözümüne katkıda bulunabilme ve bu değerlerin gelişimini destekleyebilme *(Alana Özgü Yetkinlik).* |  |  | + |
|  |

 **1: Az, 2. Kısmi, 3. Tam**

## Relationship between the Course and “Energy Science and Technology Ph.D. Program”

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Program Outcomes** | **Level of Contribution** |
| **1** | **2** | **3** |
| **i.** | By means of developing and intensifying the current and high level knowledge with the use of original thinking and/or research processes and in a specialistic level, based upon the competency in MS level, grasping the interdisciplinary interaction related to energy area and reaching original results by using this specialistic knowledge in analyzing, synthesizing and evaluating new and complex ideas (*knowledge*). |  |  | + |
| **ii.** | By means of the ability to evaluate and use new information in the energy area with a systematical approach, developing a new idea method, design and/or application which brings about innovation; or, applying a conventional idea, method, design and/or application to a different environment; researching, grasping and designing and applying an original subject, and also by the ability to critically analyze, synthesize and evaluate new and complex ideas, acquiring the most developed skills about using the research methods in studies within the energy area (*skill*). |  |  | **+** |
| **iii.** | By means of contributing to the progress in the energy area by independently carrying out a study which uses a new idea, method, design and/or application which brings about innovation in the energy area; or, applying a conventional idea, method, design and/or application to a different environment, expending the limits of knowledge by publishing at least one scientific article in a national and/or international peer reviewed journal (*competence to work independently and take responsibility*). |  |  | + |
| **iv.** | By means of fulfilling the leader role in the environment where solutions are sought for the original and interdisciplinary problems, developing energy area related new ideas and methods by making use of high-level intellectual processes such as creative and critical thinking, problem solving and decision making (*competence to work independently and take responsibility, learning competence*). |  | + |  |
| **v.** | Ability to see and develop social relationships and the norm directing these relationships with a critical look and ability to direct the actions to change these when necessary. (*Communication and social competency*). | + |  |  |
| **vi.** | By means of proficiency in a foreign language in advance level and establishing written, oral and visual communication and developing argumentation skills with that language, the ability to establish effective communication with expert in the international environment to discuss the area related subjects and to defend original opinions, showing ones competency in the energy area (*communication and social competency*). |  | + |  |
| **vii.** | By means of contributing to the society state and progress towards being an information society by announcing and promoting the technological, scientific and social developments in energy area, and ability to establish effective communication in the solving of problems faced in that area by using strategic decision making processes, contributing to the solution of area related social, scientific, cultural and ethical problems and promoting development of these values (area specific competency). |  |  | + |
|  |

 **1: Little, 2. Partial, 3. Full**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Düzenleyen (Prepared by)*** | **Tarih (Date)**25.02.2011 | İmza (Signature) |